أساسيات الجيولوجيا

GEOLOGY

الدكتور
ميشيل كامل عطالله



رقـــــم التصنيـــــف : 553.7
المؤلف ومن هو في حكمه: ميشيل كامل عطاالله
عنـــــوان الكتـــــاب: أساسيات الجيولوجيا
رقـــــم الايـــــداع : 2000/6/1956
الـــواصفـــــــات: / الجيولوجيا /
بيـــانـــات النـــشر : عمان - دار المسيرة للنشر والتوزيع
* - تم اعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

الطبعة الأولى 2000 م - 1421 هـ
الطبعة الثانية 2007 م - 1427 هـ
الطبعة الثالثة 2009 م - 1430 هـ



عمان-العبدلي-مقابل البنك العربي
هاتف:5627049 فاكس:5627059
عمان-ساحة الجامع الحسيني-سوق البتراء
هاتف:4640950 فاكس:4617640
ص.ب 7218 - عمان 11118 الأردن
www.massira.jo

إهـــداء

إلى المرحومة الغالية . . .

زوجتي طيبة الذكر (ميمي)

المقدمة

مع الانطلاقة الخيرة التي برزت خلال العشر سنوات الأخيرة لمواكبة حركة التطوير التربوي لبرامج إعداد وتأهيل المعلم أثناء الخدمة وتحسين كفاياته وتوفير الفرص المناسبة له للالتحاق بالدراسة الجامعية، ومع الاهتمام المتنامي بتطوير مناهج العلوم ومقرراتها لمراحل التعليم المختلفة في المملكة الأردنية على وجه خاص، وفي الدول العربية بصورة أكثر عمومية. وفي ضوء حاجة المكتبة العربية إلى مرجع ومؤلف حديث لمبحث الجيولوجيا، فقد برزت الحاجة الماسة والأهمية البالغة لتأليف هذا الكتاب.

واستناداً إلى ما سبق ذكره فإن هناك إحساس عميق لدى المهتمين بمبحث الجيولوجيا بضرورة تأليف كتاب ومرجع علمي يؤمل منه تحقيق جملة من الأهداف، ومنها ما يلي:

1- إغناء المكتبة العربية بكتاب حديث في ميدان الجيولوجيا لسد النقص إذا وجد فيها.

2- توفير كتاب جامعي يتناول المفاهيم والمبادئ الأساسية في مجال الجيولوجيا بطريقة سهلة مبسطة ويتطلب عرضها بأسلوب شيق وبالاستعانة بالصور والرسومات المناسبة. وعليه، فإن هذا الكتاب يصلح للطالب الجامعي الذي يختار مبحث الجيولوجيا كمتطلب جامعي أو حر؛ وغالباً يصلح الكتاب لطلبة الكليات الإنسانية أو طلبة كليات الزراعة والهندسة والصيدلة.

3- تزويد معلمي العلوم عموماً في مراحل التعليم الثلاث: الابتدائية والإعدادية والثانوية بمرجع مرشد يعودون إليه عند الحاجة أثناء تدريس الجيولوجيا حسب المناهج والمقررات الدراسية لصفوف هذه المراحل.

4- توفير مرجع للطالب المبتدئ المتخصص في دراسة الجيولوجيا لعله يساعده على فهم المبادئ والمفاهيم الأساسية التي تمكنه من التعمق فيها في ميدان تخصصه الرئيس.

ولقد كان لكتاب أساسيات علم الجيولوجيا، لمؤلفيه الدكتور محمد يوسف حسن والزملاء الآخرين، خير معين لي في مهمتي تأليف هذا الكتاب. فالشكر والتقدير لهم جميعاً.

المؤلف

محتويات الكتاب

الفصل الثالث

العمليات الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية

الفصل الرابع

العمليات الخارجية التي تؤثر في سطح القشرة الأرضية

الفصل الخامس

المعادن والبلورات

ألفصل السادس

الصخور

ألفصل السابع

الأحافير

الفصل الثامن

تأريخ الأرض

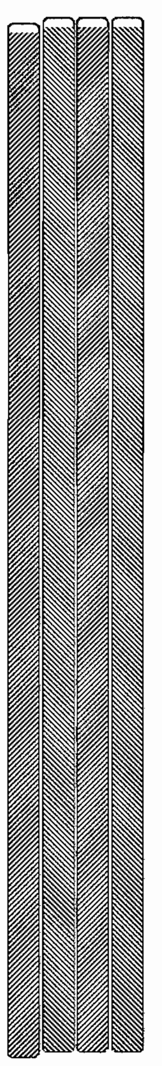
الفصل التاسع

المياه في الطبيعة

الفصل العاشر

تكنولوجيا مصادر الطاقة

الفصل الأول



علم الأرض (الجيولوجيا)

يعرض هذا الفصل مقدمة عامة تتناول بالدراسة علم الأرض (الجيولوجيا) من حيث المفهوم، والطرق، والاهتمامات، والاتجاهات الجيولوجية الحديثة، كما يتناول دراسة تطور علم الأرض ونبذة تاريخية عن أهم المنجزات التي حققتها الأمم والشعوب القديمة والحديثة في هذا الميدان.

1

علم الأرض (الجيولوجيا)

1-1 التعريف بعلم الأرض وفروعه

الجيولوجيا أو علم الأرض هو العلم الذي يبحث في أصل الأرض، وعلاقتها بالكون، ومكوناتها، وشكلها، وتاريخها، والعمليات، والحوادث، والتغييرات التي عاصرت نشأتها ولعبت دوراً أساسياً في تشكلها بالصورة الحالية ونتائج ذلك.

والجيولوجيا كلمة معرّبة من المصطلح الإغريقي (Geology) حيث يشير المقطع (Geo) إلى جيو وتعني الأرض، والمقطع(Logy) يشير إلى (لوجيا) وتعني العلم، وبذلك تعني الكلمة السابقة، جيولوجيا، علم الأرض.

وقد اختصّ علم الأرض أو الجيولوجيا، منذ البدء، بدراسة المواد الصلبة غير العضوية والطبيعية التي تحيط بالإنسان، وهذه المواد تشكل القشرة الأرضية، ذلك الغلاف الصلب الذي نعيش عليه، ولا يزيد سمكه عن بضع عشرات من الكيلومترات. وقد اقتصر علم الأرض على دراسة الجزء العلوي من هذه القشرة الأرضية، كما يركز اهتمام هذا العلم على دراسة مكونات القشرة الأرضية وتراكيبها الجيولوجية (أشكال الكتل الصخرية المكونة للجبال والوديان والسهول والتي تفسر سبب تكون تضاريس هذه القشرة). وفيما بعد، تبين أن فهم تطور هذه التراكيب الجيولوجية المكونة للقشرة يرتبط بأمرين وهما:

1- فهم تطور الكائنات الحية على سطح الأرض من خلال دراسة الأحافير.

2- فهم العمليات التي تساعد على تشكيل هذه التراكيب، وقد تبيّن أن هناك نوعين من هذه العمليات هما: الخارجية والداخلية، وفهم هذه العمليات يؤدي إلى تفسير القوى المؤثرة في تشكيل هذه التراكيب.

ولا شكّ أن النهضة العلمية التي نشاهدها في العصر الحالي وما توصلنا إليه من تقدم وازدهار في علم الأرض مرهون بالثروة الطبيعية التي مصدرها الأرض، وتقاس حضارة الأمم والإنسانية بقدرتها على استغلال كنوز الأرض ودفائنها، ولذا نشأت حركات ومنافسات دولية في محاولات لاستثمار ثروات الأرض الطبيعية مثل الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي والتي تعتبر مصادر الطاقة الأساسية، وأيضاً محاولة التنقيب عن المعادن مثل الذهب والفضة والحديد والماس والفوسفات وما إلى ذلك لما لها من أهمية اقتصادية وصناعية.

والجيولوجيا (علم الأرض) - في وقتنا الحاضر- تحظى بالكثير من الاهتمام من قبل الدول والمجتمعات في العالم، وقد انعكس ذلك بإنشاء المؤسسات والمعاهد والجامعات التي تعنى بدراسة هذا العلم، كما لوحظ اهتمام الدراسات في مجال هذا العلم بما يحقق المزيد من الطاقات والمعرفة الموجهة نحو الكشف عن مصادر الأرض واستغلالها.

خلاصة:

الجيولوجيا هي العلم الذي يدرس الأرض بما يسهّل عيشنا عليها، وبالقدر الذي نحسّن فيه معرفتنا عن هذا الكوكب، بيئته وموارده، فإننا نحسِّن من مستوى فهمنا وتقديرنا له وبالتالي تكوين الاتجاهات الايجابية نحوه، فالأرض في نظر الإنسان أهم عناصر هذا الكون.

كما نعلم فإن الأرض كوكب من كواكب المجموعة الشمسية وتكوّن هذه المجموعة مع مجموعات أخرى مماثلة ما يُعرف بمجرة درب اللبَّانة (التبّانة) التي رصد فيها حتى الآن حوالي ثلاثين بليون نجم شبيهة بنجم الشمس مركز المجموعة الشمسية، وكل نجم يحاط بعدد من الكواكب السيّارة، وتوابع أخرى.

ويقسم علم الأرض (الجيولوجيا) إلى قسمين رئيسيين وهما:

1- الجيولوجيا الفيزيائية

يعني هذا القسم بدراسة طبيعة وخواص وتوزيع المواد المكونة للأرض، والطرق التي ساعدت على تكوين تلك المواد وأسلوب تغيرها وطرق نقلها، وتشمل كذلك دراسة تكون سطح الأرض والعوامل المؤثرة فيه.

2- الجيولوجيا التاريخية

وتشمل دراسة التغيرات التي حدثت على سطح الأرض من ناحية توزيع المياه ومناطق اليابسة منذ أول نشوء للأرض قبل ما يقرب من 4.6 بليون سنة ولحد الآن، وكذلك دراسة علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية والكون.

كما يعنى هذا القسم بدراسة آثار وبقايا الحياة القديمة على الأرض منذ نشأة الحياة قبل حوالي بليوني سنة وإلى الوقت الحاضر وتقع ضمنها دراسة الإنسان.

وبصورة أخرى، يمكن اعتبار علم الأرض (الجيولوجيا) على أنه علم مستقل بذاته، إلاّ أن فروعه المتعددة تعتمد على أحد العلوم التالية أو كلها أو بعضها: الكيمياء، والفيزياء، والرياضيات والإحصاء، والأحياء، والفلك، والتضاريس، والاقتصاد، والجغرافيا وعلم الإنسان.

ولتوضيح علاقة الجيولوجيا بالعلوم الأخرى، أورد الأمثلة التالية:

أ- لدراسة تاريخ الأرض علينا أن ندرس طريقة نشوئها وموضعها بالنسبة للمجموعة الشمسية والكون بصورة عامة وهي دراسات لها علاقة بعلم الفلك.

ب- ومن أجل فهم خواص وطبيعة المواد المكونة للأرض علينا أن نلمّ بعلوم الفيزياء والكيمياء؛ فعلم الكيمياء يهتم بدراسة العناصر ومكوناتها ومركباتها المختلفة وهذا العلم على علاقة بعلم البلورات - علم يفيد في دراسة البلورات الصلبة المؤلفة للمعادن والصخور الأرضية- ولعلم الكيمياء علاقة بعلم المعادن وعلم البترولوجيا (علم دراسة الصخور). وأما علم الفيزياء فيسهّل فهم القوى التي تعرضت لها الصخور وأدت إلى نشوء التشوهات والإلتواءات والتراكيب الجيولوجية المتعددة.

جـ- علم الأحياء؛ ويفيد في دراسة نشأة وتطور الكائنات المستحاثية في الصخور الطباقية، وعلى نحو آخر فيفيد في دراسة وفهم تطور ونشأة الأحياء من حيوانات ونباتات على سطح الأرض والمحفوظة أدلتها في صخورها.

د- ويشترك علم الإنسان مع الجيولوجيا في تحللهما لبقايا الإنسان من هياكل عظيمة ومواد أولية صنعها الإنسان، ويفيد ذلك في تفسير تطور الإنسان العضوي وتطور حضارته.

ولقد توسعت فروع علم الأرض نتيجة للتقدم التكنولوجي وتطورت أهميته بازدياد حاجة الإنسان المستمرة إلى المصادر الطبيعية وخاصة مصادر الطاقة ومصادر الماء، فأصبح الآن أحد العلوم الرئيسية في حياة الإنسان، وقد أمكن تقسيم الفروع الكلاسيكية لعلم الأرض إلى أربع مجاميع تعالج كل مجموعة منها جانباً من مظاهر القشرة الأرضية، وهذه المجاميع تسهم في توفير المعرفة النظرية البحتة لعلم الأرض وهذه المجاميع هي ما يلي(*):

1- العلوم الخاصة بدراسة مكونات القشرة الأرضية

وتعتمد هذه العلوم على علم الكيمياء الذي يهتم بدراسة العناصر المكونة للمادة، ذلك أن مكونات القشرة الأرضية ليست إلا مواد صلبة مكونة من عناصر. ومن العلوم التي تختص بدراسة مكونات القشرة الأرضية هي: علم البلورات، وعلم المعادن، وعلم الصخور وعلم الجيوكيمياء.

2- العلوم الخاصة بدراسة التراكيب الجيولوجية المكونة للقشرة الأرضية

وتعتمد الكثير من هذه العلوم على فروع من علم الفيزياء، على اعتبار أن التراكيب الجيولوجية ناتجة في كثير من الأحيان عن تأثير قوى معينة على الصخور. ومن العلوم التي تختص بدراسة التراكيب الجيولوجية هي: الجيولوجيا التركيبية، وعلم الحركات الأرضية.

3- العلوم الخاصة بدراسة تاريخ تطور القشرة الأرضية

وتعتمد هذه العلوم على علم الحفريات ويختص بدراسة الحفريات أي بقايا الكائنات الحية في الصخور الطباقية، ولهذا العلم جذور عريقة بعلم الحياة، وأما العلوم التي تختص بدراسة وتحديد التاريخ الجيولوجي للقشرة الأرضية فهي: علم الطبقات، وعلم البيئة القديمة، وعلم الجغرافيا، والجيولوجيا التاريخية.

4- العلوم الخاصة بدراسة تضاريس سطح القشرة الأرضية

وتختص هذه العلوم بمعرفة نشأة هذه التضاريس ومعظمها علوم قريبة من الجغرافيا وتعتمد على حد بعيد على العمليات والمشاهدات الخاصة البانية للتضاريس، فهذه العمليات مفتاح لكثير من الأحداث التي أثرت في تاريخ الأرض،

(*) حسن، محمد يوسف، أساسيات علم الجيولوجيا، ص(13).

ومجموعة هذه العلوم هي: علم الجيومورفولوجيا (علم وصف وتصنيف ودراسة نشأة التضاريس) وعلم المساحة، والجيولوجيا الفيزيائية (وهذا علم يعالج العمليات التي تؤدي إلى نشأة التضاريس والتراكيب وهذه العمليات إما خارجية أو داخلية كما سنرى فيما بعد).

وهناك فروع أخرى لعلم الأرض إضافة للعلوم النظرية السابقة الذكر، تعني هذه الفروع بالنواحي التطبيقية للجيولوجيا وتعتمد على العلوم النظرية، وتهدف جميعها إلى الاستفادة من المواد التي تتكون منها القشرة الأرضية، وأهم هذه العلوم هي: الجيولوجيا الاقتصادية وجيولوجيا النفط، وجيولوجيا المياه، وما إلى ذلك.

وقد تطور علم الأرض واتسع نطاق إهتماماته التقليدية من دراسة القشرة الأرضية إلى دراسة علاقة الأرض بعناصر المجموعة الشمسية، ولذلك أضيف إليه عدد من العلوم لتوضيح هذه العلاقة وقد سميت بعلوم الأرض، ومنها: علم الزلازل، وعلم البراكين، وعلم البحار، وعلم الأرصاد الجوّية، وعلم التربة، والجيولوجيا الكونية، وعلم الكواكب.

ومما سبق نرى أن الجيولوجيا هي العلم الذي يعنى بالدراسة المستفيضة للعلوم البحتة والتطبيقية، والتي لا يمكن دراستها بغياب علم الأرض عنها، وعليه فلفهم علم الأرض ومظاهرها وكيفية استخراج دفائنها المتعددة بالطرق السليمة لا بدّ من الإحاطة في علوم الكيمياء والفيزياء والأحياء والاقتصاد.

2-1 ما أهمية دراسة الجيولوجيا؟ وما مجالها؟

نظراً للتطور الهائل في الميادين العلمية والحضارية، فقد اتسع مجال الجيولوجيا، مما دفع الكثيرون إلى استغلال دفائن الأرض وكنوزها من الثروات العديدة كالمعادن والنفط والغاز الطبيعي والزيت الصخري والفحم الحجري والمياه الجوفية والسطحية واستخلاص العناصر المشعة كاليورانيوم والراديوم وغيرها بطرق علمية وتقنية أدق وأشمل، وذلك من أجل سد النقص والطلب المتزايد على هذه المواد، وقد أدى ذلك وغيرها من المسببات إلى نشوء علوم جيولوجية تُعنى بالبحث والإهتمام في ميادين مختلفة.

ويلخص باشا (1992) اهتمامات الجيولوجيا كما يلي:

1- البحث والتنقيب عن المعادن.

2- البحث عن مصادر جديدة وبديلة للطاقة مثل حرق الصخور الزيتية والإستفادة منها في تشغيل المحركات الخاصة بإنتاج الطاقة.

3- تزايد البحث عن البترول وإعادة تنشيط الحقول الجافة باستعمال وسائل وتقنيات جديدة.

4- استخلاص العناصر المشعة واستعمالها كمصادر بديلة لإنتاج الطاقة للأغراض السلمية والعسكرية.

5- الإنشاءات المدنية والعسكرية الضخمة مثل البنايات والسدود والتي تقوم بناءً على الدراسات الجيولوجية.

6- إنشاء صناعات عديدة كالإسمنت والصوف الصخري والخزف والدهانات.

7- استخدام الحجارة والصخور والرخام للأغراض العديدة كالبناء ورصف الشوارع والبنايات.

8- القيام بالأبحاث والدراسات التي من شأنها فهم تطور الأرض وتاريخها.

وبناءً على ما سبق وغيره فإن مجال الجيولوجيا يتناول العمليات التي تحدث فوق سطح الأرض وفي داخلها وبتاريخ الأرض وتاريخ الحياة عليها، كما أن الجيولوجيا بشكلها الأعم تشمل دراسة القارات والمحيطات والغلاف الهوائي ومجالات الأرض المغناطيسية والإشعاعية.

ويقع ضمن مجال الجيولوجيا البحث والتنقيب عن ثروات الأرض وتقدمه في المجالات العديدة والتي تدر على الإنسان أرباحاً طائلة، ويقع ضمن مجالها أيضاً دراسة أصل الأرض ونشأتها وعلاقتها بالكون الواسع من حولنا.

1-3 ما الطرق الجيولوجية؟

يواجه علماء الجيولوجيا أثناء استقصاء الظواهر الطبيعية والجيولوجية مشكلات متعددة، ويسعون لحلها باستخدام طرق خاصة متنوعة، وخلال عملهم يتوصلون إلى المعرفة العلمية الجديدة في ميدان الجيولوجيا. ونحن نستعرض هنا هذه الطرق لعلها تفتح أمامنا آفاقاً جديدة في اقتراح الطرق المناسبة لتدريس مبحث الجيولوجيا (علم الأرض) ومقرراته التي يتضمنها منهاج العلوم المقرر لصفوف

المرحلة الأساسية (الابتدائية والإعدادية)، ومن الطرق التي يستخدمها علماء الجيولوجيا ما يلي:

1- طريقة المشاهدة (الملاحظة)

تقوم عملية الملاحظة عندما يستخدم الفرد حواسه في تفحص شيء ما أو حدث أو ظاهرة، ثم يتوصل إلى معلومات (بيانات) تساعده في وصف هذا الشيء أو الحدث أو الظاهرة ويتبع ذلك بتسجيل النتائج التي يتوصل إليها بدقة وموضوعية.

وعالم الجيولوجيا يلجأ إلى استخدام طريقة الملاحظة (المشاهدة) على نطاق واسع لدى دراسته الظواهر الجيولوجية، فعلى سبيل المثال، عندما يتوجه إلى دراسة تاريخ (عمر) الأرض أو الصخور في منطقة ما فإنه يستخدم طريقة الملاحظة ثم يحاول تفسير البيانات التي يجمعها لتقدير هذا التاريخ، ولإنجاح مهمته يستعين بالعلوم الأخرى مثل الكيمياء والأحياء والفيزياء، وما يلاحظ هنا أن الأسلوب التجريبي لا يحلّ إلاّ جانباً صغيراً من هذه المشكلة وغيرها من المشكلات في ميدان الجيولوجيا التجريبي.

وللغرض نفسه قد يلجأ عالم الجيولوجيا إلى دراسة الأحافير (المستحاثات) التي تتوافر داخل طبقات الصخور، ومن ثمّ يطبق المبدأين التاليين:

أ- مبدأ التزامن، ويشير إلى أن تكوّن الصخور ودفن الكائنات الحية عندما ماتت ودفنت فيها قد حدثا في الوقت نفسه.

ب- والمبدأ الثاني: إن الحياة قد تغيرت خلال تاريخ الأرض.

والمبدأ الأخير لا يمكن إثباته بالتجربة العلمية إلا أنه قد تم التوصل إليه نتيجة المشاهدات والتفسير والتحليل لفترة زمنية طويلة.

سؤال: إفترض أنه قد طلب إليك تعليم مفهوم الطيّات الأرضية، ما هو الأسلوب الذي تستخدمه؟ إشرح ذلك.

2- استخدام الأساليب البديلة في دراسة المشكلات الجيولوجية

يواجه العالم الجيولوجي صعوبة في استخدام الأسلوب المباشر عند دراسة ظواهر جيولوجية خطرة مثل ظاهرتي البركان والزلزال، لما يرافق هذه الدراسة من خطورة على حياته إضافة إلى الصعوبات الكثيرة التي تواجهه فيها، ولذا يقوم

باستبدال هذه الدراسة الميدانية بدراسة بديلة يستخدم فيها ظروف ومعدات اصطناعية مشابهة لهاتين الظاهرتين.

كما يؤكد علماء الجيولوجيا بضرورة استخدام أسلوب الاكتشاف لتعويض النقص في دراسة الظواهر الجيولوجية الخطرة وأيضاً تعويض النقص المتمثل بعدم قدرتهم إجراء التجارب العلمية المناسبة عليها.

سؤال: إشرح طريقة تستخدمها لتدريس مفهوم البركان لطلاب الصف السادس الأساسي؟

3- استخدام أسلوب الفرضيات المتعددة

يصعب في علم الأرض التأكيد أو إثبات أو تدعيم النظريات العلمية المقترحة لتفسير الظواهر الطبيعية وتعليل أسباب حدوثها، لذا يلجأ علماء الجيولوجيا إلى اقتراح عدة فرضيات في الوقت نفسه تفسر جميعها الظاهرة قيد الدراسة، ثم يعملون على إسقاط الفرضيات الضعيفة وغير المبررة منها، وفي النهاية فإنهم يحصلون على فرضية قوية تفسر الظاهرة، فعلى سبيل المثال لا الحصر، اقترح علماء الجيولوجيا والفلك فرضيات متعددة لتفسير أصل المجموعة الشمسية، وبعضها ما زال مقبولاً والبعض الآخر رفضته الأوساط العلمية في ميداني الجيولوجيا والفلك.

4- مسح المناطق المحددة على سطح القشرة الأرضية

يسود في ميدان الجيولوجيا اتجاه رئيسي يتمركز حول دراسة صخور القشرة الأرضية، ولذا يجهّز علماء الجيولوجيا الخرائط الوصفية لبعض مناطق سطح القشرة الأرضية توضح توزيع الصخور وتبين عمرها ونوعها وخصائصها وتركيبها، ثم يقومون باستخدام الخرائط الوصفية في تفسير التاريخ الجيولوجي لهذه المناطق. ولإعداد مثل هذه الخرائط استخدام علماء الجيولوجيا تقنيات وطرق متعددة، عبر التاريخ، ومنها ما يلي:

أ- استخدام الطرق المباشرة للوصول إلى الأماكن النائية، سواء كان ذلك عن طريق التسلق أو استخدام حيوانات الحمل كالجمل واللاما وغيرها.

ب- استخدام الطائرات وبوجه خاص طائرات الهيلوكبتر بهدف إجراء المسوحات المناسبة للصخور في الأماكن النائية.

جـ- استخدام التصوير الراداري العادي والملون للوحدات الصخرية باستخدام الطائرات أو السيارات المتطورة.

5- زيادة حجم أدوات المسح التقليدية

إضافة إلى أدوات المسح التقليدية التي سبق ذكرها تحت البند 4، يستخدم علماء الجيولوجيا تقنية الصور الجوية بالأشعة تحت الحمراء أو الأمواج الحرارية بدلاً من استخدام الضوء العادي، وتستخدم هذه التقنية في دراسة البراكين النشطة والبحث عن المياه الجوفية.

6- الدراسة التفصيلية للصخور

يستخدم الجيولوجيين عادة عدة تقنيات للتعرف على مكونات الصخور والمعادن التي تتشكل منها، ومن هذه الطرق ما يلي: التحاليل الكيماوية للصخور، ودراسة بلوراتها باستخدام الأشعة السينية والتحليل الطيفي والأشعة المرئية.

4-1 ما الاتجاهات الحديثة في الدراسات الجيولوجية؟

في الماضي، تبنت الدراسات الجيولوجية اتجاهاً تقليدياً بتمثل في دراسة صخور القشرة الأرضية، وفي العصر الحالي وبسبب اتساع الكفايات العلمية لعلماء الجيولوجيا والتطور التكنولوجي، فقد اتسعت آفاق هذه الدراسات وتناولت ميادين واتجاهات حديثة، ومنها ما يلي:

1- الاتجاه الكمي المبسط إضافة إلى الدراسات الوصفية، يقوم هذا الاتجاه على أساس استخدام التقدير الكمي في قياس بعض الظواهر الجيولوجية، وقد تمكن في الآونة الأخيرة، علماء الجيولوجيا من القيام بدراسات كمية لقياس أثر العمليات الخارجية المؤثرة في سطح القشرة الأرضية، فعلى سبيل المثال، تمكنوا من تقدير كميات الرمال التي تحملها الرياح سنوياً في بعض الصحارى، وكما تمكنوا من تقدير وقياس أثر عمليتي التعرية والتجوية في إزالة وتفكيك بعض مكونات سطح القشرة الأرضية في مناطق محددة منها. كما يتضمن الاتجاه الكمي وضع سلّم أو مقياس للتأريخ (للزمن) الجيولوجي، وقد استخدم هذا المقياس في اكتشاف تأريخ القارات والتراكيب الجيولوجية على سطح القشرة الأرضية.

2- استخدام النشاط الإشعاعي في اختبار أقدم صخور القشرة الأرضية، وقد ساعد هذا في دراسة مشكلة أصل الأرض وتأريخها الأقدم، ويقوم ذلك بدراسة فترة نصف الحياة للعناصر المشعة وبالتالي تقدير العمر المطلق للصخور.

3- دراسات لأعماق البحار والمحيطات ومسحها جيولوجياً، وقد أدّت المكتشفات الجديدة إلى توجيه التفكير الجيولوجي إلى دراسة مشكلة التراكيب الجيولوجية وأسبابها، ولم تؤدي هذه الدراسات إلى حلول جذرية ناجحة للمشكلة – دراسة التراكيب الجيولوجية التي تتكون منها أعماق الأرض.

4- اتجاه الدراسات الفضائية، يزوّد برنامج الفضاء حالياً بمعلومات حول النظام الشمسي، وقد ازدادت المعرفة في هذا الميدان مما دفع إلى ظهور وتأسيس علم جديد هو علم الكواكب أو الجيولوجيا الفلكية، وبذلك اعتبر أصل الأرض بأنه موضوع من الموضوعات التي تتناولها الجيولوجيا.

5- اتجاهات حديثة عديدة مثل: علوم البحار، والجيوفيزياء، والأرصاد الجوية، وهذه العلوم بدأت تتسع وتتقارب من بعضها الي بعض مما سيؤدي في نهاية المطاف إلى دراسة عميقة للأرض وهي مركز اهتمام الدراسات الجيولوجية.

1-5 مقدمة تاريخية: تطور علم الأرض

لقد نظر الإنسان بتعجب إلى سطح الأرض وأحياناً برعب ولا سيما عندما كان مهدداً بالبراكين والزلازل (الهزات الأرضية)، وتعود محاولاته لشرح وجود الأرض وطبيعتها إلى تأريخ أقدم المعتقدات الدينية التي آمن بها، كما أن البعض من تفسيراته لم تخل من الخرافات. يتناول هذا المدخل الموجز تطور علم الأرض عبر شريحة من الاستنتاجات والأفكار التي اقترحها الإنسان عبر العصور الماضية كما وردت في تأريخ الأمم التي واكبت النهضة العلمية، وهذه الأمم هي: الإغريق والرومان، والعرب، والشعوب الأوروبية منذ عصر النهضة في القرن الخامس عشر الميلادي وحتى نهاية القرن العشرين الميلادي. ويؤمل من دراسة هذه المقدمة التأريخية تطوير اتجاه الفرد نحو تقدير العلم والمنجزات العلمية عند الشعوب والأمم، ومحاكاة جهود العلماء وطرقهم العلمية.

1-5-1 تطور الجيولوجيا عند اليونان (الإغريق)

إن الإغريق هم الرواد الأوائل من بين الأمم في إرساء النظريات الجيولوجية الواضحة التي عالجت بعض المظاهر الجيولوجية لكوكب الأرض وسطحه، ومن بعض إنجازات علماء وفلاسفة الإغريق ما يلي:

اعتقد العالم طاليس (636ق.م- 546ق.م) بأن الأرض عبارة عن قرص مسطح تحيطه المياه، ومن خلال ملاحظاته ومشاهداته لترسبات الأنهار عند مصباتها استنتج أن الماء مصدر جميع المواد على سطح الأرض. وقد اعتقد أن حركة المياه هي سبب الهزات الأرضية.

وأما العالم كسيمندر (610ق.م- 547ق.م)، فقد اعتقد أن شكل الأرض مثل الإسطوانة، واعتقد أيضاً بأن الإنسان وباقي الحيوانات قد تطورت من الأسماك. وتوصل من مشاهداته إلى أن الهواء وهو مصدر جميع المواد؛ والعالم كسيمندر أول من اقترح خارطة للعالم المعروف في عهده.

واستنتج العالم زينوفينس (540ق.م- 510ق.م) بأن البحار واليابسة كانتا مندمجتين معاً في فترة من فترات تطور الارض، وقد توصل إلى استنتاجاته من دراسة الأحافير واعتقاده بأن أصلها بحري.

وبصدد دراسة شكل الأرض، فقد اعتقد كل من فيثاغورس (582 - 500 ق.م) وأفلاطون (427-347ق.م) أنها تأخذ الشكل الكروي بالإستناد إلى المبدأ القائل بأن أكمل الأشكال الهندسية، وأكثرها صلابة هي الكرة.

وفيما بعد أثبت أرسطو (380-332ق.م) كروية الأرض، وقد تآتى له ذلك من خلال مشاهداته لظل الأرض المستدير على القمر أثناء ظاهرة خسوف القمر، وأيضاً من خلال مشاهداته لتحرك الأفق وظهور نجوم جديدة كلما تحركنا نحو الشمال أو الجنوب. والجدير بالذكر أن أرسطو قد استخدم منهجية استنباطية علمية تقوم على التأمل أوصلته إلى الكثير من النظريات العلمية في مجال العلوم والجيولوجيا.

واعتقد ديمقريطس (460-357ق.م) بأن الأرض والأجرام السماوية تكونت نتيجة لتجمع ذرات معاً في الكون.

وعموماً، فقد توصل علماء اليونان بأن سطح الأرض في حالة تغير بصورة مستمرة نتيجة لكثير من العمليات الداخلية التي تحدث داخلها مثل الزلازل، وعزوا تكون الزلازل إلى وجود رياح شديدة تحدث داخل الأرض ثم تنطلق خارجها محدثة الزلازل، وبالتالي تقود إلى تكوين مرتفعات ومنخفضات على سطح الأرض.

1-5-2 تطور الجيولوجيا عند الرومان (27 ق.م - 935م)

تميز الرومان باهتمامهم بالمنهجية الواقعية وابتعادهم عن النظرة الفلسفية التأملية في معالجة الظواهر الطبيعية كما تبناها الإغريق (اليونان). وكان النشاط العلمي عند الرومان واهتمامهم بتفسير الظواهر الطبيعية أقل من نشاط الإغريق. ومن أشهر علمائهم العالم بليني (Pliny) في القرن الأول بعد الميلاد، فقد وضع عدداً كبيراً من الكتب في مجال العلوم الطبيعية حدد منها ثلاثة تحدث فيها عن المعادن.

وأما العالم سترابو الروماني فقد كتب عن الهزات الأرضية، وأكد أن جبل فيزوف المعروف في إيطاليا أصله من تراكمات بركانية.

1-5-3 الجيولوجيا في الفكر العربي

كانت دراسة الجيولوجيا عند اليونان تعتمد على منهجية التأمل والمناقشة العقلية الاستنباطية، وقد توصلوا باستخدام هذه المنهجية إلى الفكر والنظريات الجيولوجية. وعندما جاء علماء العرب، اقتبسوا منهم الكثير من هذه النظريات، وطوروا منهجية علمية خاصة بهم تقوم على أساس تفسير الظواهر الطبيعية والجيولوجية والبحث العلمي.

وظهر من العلماء العرب الكثيرون ممن برزوا في مجالات العلوم الطبيعية المختلفة بصورة عامة، وفي ميدان الجيولوجيا بصورة خاصة، ومن أشهرهم إخوان الصفا، والعالم ابن سينا، والبيروني، والقزويني، وغيرهم.

اشتهرت جماعة إخوان الصفا (941-982م) في البصرة بأنها قد أرست الكثير من الأفكار والنظريات الجيولوجية ذات الاتجاه الحديث، ومن أبرزها ما يلي:

1- أشاروا إلى السطح التحاتي الذي يشاهد أحياناً عند سطح الأرض في المناطق التي تحدث فيها عملية الحت (التعرية).
2- تناولوا في كتاباتهم ظاهرة تطور البحيرات وعمليات النقل التي تقوم بها الرياح والأنهار.

3- أشاروا إلى عمليات التجوية وعواملها التي تحدث تغييرات على سطح القشرة الأرضية.

4- يعتبر إخوان الصفا من الرواد الذين أرسوا فكرة تقسيم الجبال بحسب تكوينها الصخري، وكان لهذه الفكرة أثر في تحديد مجرى الفكر في أوروبا، وكما أشاروا في تقسيمهم للجبال إلى الصخور المتحولة والنارية التي تكوّن الجبال.

ويعتبر ابن سينا (980-1037م) من العلماء الذين أسسوا الجيولوجيا في الفكر العربي، وتعتبر الأفكار التي نادى بها أساساً بنيت عليه المعرفة الجيولوجية في عصر النهضة عند الأمم الأروربية في العصور اللاحقة.

ومن أشهر أفكاره ومنجزاته ما يلي:

1- وضع نظريات تفسر تكوين الجبال والأحجار والمعادن، فقد تحدث في كتاباته عن الصخور الرملية وتكونها من أصل مائي، وكتب عن تكون الحجارة من النار ويقصد بها الصخور النارية.

وبذلك فهو أول عالم اعتقد بأن أصل الصخور هو من الماء أو النار، وأما عن تكون الجبال فقد أكد في مشاهداته أنها تتكون من طبقات متعددة وقد عزى ذلك إلى الأطيان التي تراكمت وكونت تلك الجبال على صورة طبقات.

ومن المحتمل أن تكون هذه الأفكار قد شكلت أساساً ساعد العالم الإنجليزي وليم سميث في وضع قانون تعاقب الطبقات، وسنشرح عنه في القسم الأخير من هذه المقدمة التاريخية.

2- كتب في الزلازل وأفكاره لا تختلف عن الآراء الحديثة.

3- قسم الجبال تبعاً لطريقة تكونها، وقد ميز بين نوعين من الجبال وهما:

أ- جبال تكونت نتيجة حركات رافعة مثل تلك الحركات التي ترافق حدوث الزلازل.

ب- جبال تكونت بفعل المياه الجارية وأثر الرياح.

4- شرح ابن سينا في مؤلفاته طبقية الصخور الرسوبية وتكوين سطوح فاصلة بينها.

ويرى علماء الجيولوجيا الغربيون أن آراء وأفكار ونظريات ابن سينا في ميدان

الجيولوجيا تجعله بحق مؤسس علم الجيولوجيا عند العرب.

وأما أبو الريحان البيروني (973-1062م): فقد بحث في شكل الأرض وتمكن من قياس محيط الأرض وحسب نصف قطرها باستخدام معادلة رياضية تسمى معادلة البيروني، وكتب في علم الطبقات وعلم الحفريات وعلم المعادن.

وفي القرن الثالث عشر الميلادي نبغ العالم الجيولوجي العربي محمد بن زكريا القزويني، ومن أشهر كتاباته وآرائه ما كتبه عن الزلازل والمياه الجوفية في كتابه (عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات).

وهناك عدد آخر من علماء الجيولوجيا العرب من أمثال الرازي، والكندي، والادريسي، وعمر العالم، ولهم كتابات في موضوعات مختلفة في ميدان الجيولوجيا، فتناولوا موضوع الحركات الأرضية والترسيب الذي ساعد في تكوين القشرة الأرضية ولهم نظريات في تكون الينابيع والمياه الجوفية لا يتسع المجال هنا لشرحها.

1-5-4 تطور الجيولوجيا عند الشعوب الأوروبية

يعالج هذا الموضوع العديد من المكتشفات والأفكار والنظريات في ميدان الجيولوجيا خلال الفترة الواقعة بين القرن الخامس عشر والقرن العشرين الميلاديين ومن أشهر المنجزات ما يلي:

كان الاعتقاد السائد قبل القرن الخامس عشر الميلادي أن الأحافير (المستحاثات) هي من صنع الشياطين أو تكونت بتأثير الشياطين. لكن العالم والفنان الإيطالي ليوناردو دافنشي (1452-1519م) وضح بجلاء أصلها وقد عزا ذلك الي تكوينها العضوي، وبهذا فقد فتح آفاقاً جديدة ساعدت في توضيح أصل ونشأة الأحافير البحرية، وبأن أصلها عضوي كباقي أنواع الأحافير المدفونة في باطن القشرة الأرضية اليابسة، مما سهّل أمام علماء الجيولوجيا عملية تفسير وجودها.

وأما العالم نيقولا كوبرنيكس (1473-1543م) فقد اقترح نظرية تنص أن الشمس لا الأرض هي مركز الكون المعروف في ذلك الوقت، وبذلك خالف كوبرنيكس الاعتقاد السائد؛ بأن الأرض لا الشمس هي مركز الكون.

وقد اكتشف العالم الايطالي جاليليو (1564-1642م) حركة الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق.

ويصنف محمد يوسف حسن وزملاؤه (1990م) تطور المنجزات الجيولوجية منذ مطلع القرن السابع عشر الميلادي وحتى القرن العشرين الميلادي إلى ثلاث مراحل، وهي كما يلي:

المرحلة الأولى: تأسيس الفكر الجيولوجي الحديث خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر الميلاديين

تعود معظم إنجازات تطور الفكر الجيولوجي في هذه المرحلة إلى إنجازات بعض العلماء، ومن أشهرهم نيقولا ستينو وجيوفاني أردوينو في إيطاليا، والعالم إبراهام فيرنر في ألمانيا، والعالم جيمس هتن في بريطانيا.

اقترح العالم نيقولا ستينو (1638-1686م) نظرية تفسر تكون الجبال، وقد صنف الجبال حسب طريقة تكونها إلى ثلاثة أنواع، وهي التالية:

1- جبال تتكون نتيجة لحركات رفع وإنهيار للطبقات الأرضية الداخلية أي نتيجة تصدع هذه الطبقات، وتعرف هذه الجبال بأنها جبال التصدع.

2- جبال تتكون من البراكين.

3- جبال تتكون من تأثير عمليات التعرية والترسيب.

سؤال: قارن بين تقسيم الجبال حسبما وضعه ابن سينا وستينو؟

ومن إنجازات ستينو أيضاً ما قدمه في مجال تفسير قانون تعاقب الطبقات، وقد اعتقد أن: (الطبقات القديمة في تتابع طبقي، ولا يتأثر منها بالحركات الأرضية الطبقات السفلى)، واستخدم ستينو هذا التفسير في توضيح أسباب تكون جبال التصدع المشار إليه في تصنيف الجبال.

وإنجازات العالم جيوفاني أردوينو(1714-1795م) تركزت حول تقسيم الجبال إلى أربعة أنواع حسب أنواع الصخور المكونة لها، وهي كما يلي:

1- الجبال الأولية، وهي جبال تحتوي معادن وتخلو من الأحافير وتعتبر أقدم أنواع الجبال حسب طبيعة الصخور المكونة لها.

2- الجبال الثانوية، وهي جبال تتكون من صخور طبقية صلبة وتحتوي على أحافير بحرية كثيرة وهي تلي الجبال الأولية بالقدم.

3- الجبال الثالثية، وهي جبال تتكون من رسوبيات غير متحجرة وتحتوي على أحافير بحرية.
4- رسوبيات وفتات صخري ومواد ترابية متجمعة فوق أنواع الصخور الثلاثة سابقة الذكر.

وتأتي أهمية إنجاز أردوينو السابق في كونه أساساً ساعد العلماء فيما بعد على إرساء الأحقاب الجيولوجية الأربع في سلم الزمن الجيولوجي (العمود الجيولوجي).

وفي القرن الثامن عشر الميلادي، نبغ العالم الألماني إبراهام فيرنر (1750-1817م) ومن أشهر إنجازاته تصنيف الصخور إلى خمسة أنواع. أكد فيرنر على ربط نوع الصخور بتاريخ تكوينها، وبذلك يكون قد دعى إلى ترتيب الصخور ترتيباً زمنياً حسب نوعها ويكون قد خالف أردونيو بذلك والذي صنفها إلى أربعة أنواع، وينسب إلى فيرنر تأسيس مدرسة جيولوجية اشتهرت باسم المدرسة النبتونية (نبتون هو إله البحار عند الإغريق)، وحسب اعتقاد أتباع هذه المدرسة أن معظم الصخور أصلها من البحار، هذا وقد تبنى فيرنر وأتباعه فرضية جيولوجية خاصة بتفسير تكون طبقات القشرة الأرضية عرفت باسم الفرضية البحرية، وتنص على ما يلي: (الماء هو المصدر الوحيد لبناء الطبقات المتعاقبة المكونة للقشرة الأرضية).

ولم يصادف النجاح لهذه الفرضية لأنها لم تقدم تفسيراً قوياً يوضح قانون تعاقب الطبقات.

وفي المدرسة الإنجليزية ومن ميدان الجيولوجيا، فقد برز العالم جيمس هتن (1726-1797م). أمضى هتن معظم وقته في الرحلات فقد تجوّل في معظم مقاطعات اسكتلندا وإنكلترا، مما ساعده في التوصل إلى معظم إنجازاته في ميدان الجيولوجيا، ومنها ما يلي:

أ- وضع فرضية سماها بالفرضية الباطنية (أو النارية أو البلوتونية نسبة إلى بلوتو إله النار عند الإغريق)، وتنص كما يلي: (الماء والنار عاملان لعبا دوراً بارزاً في تكوين التعاقب الجيولوجي لطبقات القشرة الأرضية)، وبذلك فقد عارض هتن وأتباعه مدرسة فيرنر في تفسير سبب تكون الطبقات التي يتشكل منها سطح القشرة الأرضية.

سؤال: فسر باستخدام أسلوب الفرضيات المتعددة الفرضية البحرية والباطنية لتفسير سبب تكون التعاقب الجيولوجي لطبقات القشرة الأرضية.

ب- أرسى مبدأ أو فرضية الوتيرة الواحدة، ويتلخص بأن: (كل التغيرات الماضية على سطح القشرة الأرضية هي نتائج لنفس القوانين الطبيعية السائدة الآن)، أي أن العوامل التي تؤثر على سطح القشرة الأرضية في الوقت الحاضر هي نفسها التي أثرت عليه في الأزمنة الجيولوجية الغابرة.

ويعبر عن هذه الفرضية كما يلي: (الحاضر مفتاح الماضي)، وهذه الفرضية ساعدت فيما بعد في وضع أسس الجيولوجيا الحديثة.

جـ- رأى هتن أن معظم الصخور هي من أصل ناري مثل تلك الصخور الناتجة من البراكين، ثم تتعرض للتفتت بتأثير عوامل التعرية والنقل والترسيب وبذلك يتكون نوع من الصخور هو الصخور الرسوبية.

المرحلة الثانية: ظهور الجيولوجيا الحديثة في القرن التاسع عشر الميلادي

يعتبر القرن التاسع عشر الميلادي بحق بأنه عصر ظهور الجيولوجيا الحديثة، ويعتبر وضع العمود الجيولوجي أو سلم الزمن الجيولوجي (سجل الأرض) من أهم إنجازات هذه المرحلة، ويعتبر العمود الجيولوجي بأنه طريقة يتم فيها تقدير الزمن الجيولوجي، ويقدم إطاراً زمنياً نسبياً لترتيب الأحداث الجيولوجية التي أثرت في تأريخ القشرة الأرضية، ويساعد هذا الإطار على استنتاج الظروف التي أدت إلى تكوين الصخور والتراكيب الجيولوجية المختلفة المكونة للقشرة الأرضية. وقد تكاثفت استنتاجات علماء جيولوجيين كثيرين في سبيل التوصل لهذا العمود الجيولوجي ومنهم ما يلي:

1- جهود علماء الجيولوجيا قبل القرن التاسع عشر الميلادي

لقد صنّف أردونيو الجبال تبعاً لتكوينها الصخري إلى أربعة أنواع ثم تبعه فيرنر فطور هذا التصنيف بترتيب صخور القشرة الأرضية ترتيباً زمنياً حسب نوعها، لكنه لم يتمكن من فهم العلاقة بين نوع الصخور وتأريخ تكوينها . كما أن لفرضية الوتيرة الواحدة التي وضعها هتن دوراً كبيراً في تفسير الأحداث التي ساعدت على إرساء العمود الجيولوجي.

2- إنجازات علماء الجيولوجيا خلال القرن التاسع عشر الميلادي

أ- جورج كوفييه (1769-1832م): يعتبر مؤسس علم تصنيف الفقاريات والأحافير الفقارية، وقد وضع نظرية الكوارث، وتنص على ما يلي: (خلال فترات مختلفة من عصر الأرض حدثت تغيرات على سطحها بصورة مفاجئة مثل الأعاصير والفيضانات، وقد أدت هذه التغيرات إلى انقراض نوع من الحياة ونشوء حياة جديدة).

ب- والعالم جان لامارك (1744-1829م) مؤسس علم الأحافير اللافقارية، فقد اعتقد أن بقايا الكائنات الحية المنقرضة توجد في طبقات صخرية معينة داخل باطن القشرة الأرضية، وقد وضع نظرية في التطور العضوي أشار فيها إلى أن هناك تغييرات تحدث في صورة تدريجية بالكائنات الحية مع مرور الزمن كما بينها السجل الأحفوري لهذه الكائنات.

جـ- العالم الانجليزي وليم سميث (1769- 1839م)، ومن أهم إنجازاته استخدام الأحافير لمعرفة طبقات الأرض والربط بينها على مسافات طويلة في طبقات الصخور في باطن الأرض، وقد وجد أن أية طبقة من تلك الصخور لها نوع خاص من الأحافير تعد دليلاً على تلك الطبقة الصخرية دون الحاجة للدراسة التفصيلية للطبقة، وساعد هذا على وضع قانون سماه قانون تعاقب مجموعة الحيوانات والنباتات، وبذلك يعتبر سميث بأنه مؤسس علم الطبقات، ومن أشهر إنجازاته نشره لأول خارطة جيولوجية عام (1816م)، تصف التكوينات الجيولوجية لمدينة لندن في بريطانيا. وقد وصف فيها التراكيب الجيولوجية وصور الأحافير المميزة لكل تكوين منها، وبذلك فتح سميث أمام علماء الجيولوجيا التوصل لفكرة تقسيم التتابعات الطبقية الجيولوجية تقسيماً زمنياً نسبياً أو تقريبياً وتوصلوا من خلال مشاهداتهم الميدانية وبتطبيق قانون تعاقب الطبقات إلى النظم الجيولوجية، وتبين لهم أنه يمكن تقسيم صخور القشرة الأرضية الي نظم أو مجموعات، كل نظام أو مجموعة يمثل صخوراً تكونت في فترة زمنية محددة من تأريخ الأرض.

وقام الجيولوجيون، فيما بعد، بترتيب صخور القشرة الأرضية التي تحتوي على

أحافير بصورة عمود يسمى العمود الجيولوجي، واشتمل العمــود الجيولوجــي علــى خمسة عشر نظاماً موزعة في أربع أحقاب وهي التالية:

الحقبة		الامتداد الزمني قبل 2000 م	العصر (النظام)	اسم العالم الذي عرفه	الرقي الحيواني	الرقي النباتي
حقب الحياة الحديثة	الرابع	2.5 مليون عام	البليتوسين	ليل 1839	- ظهور الانسان الحديث	الجليديات المتعاقبة
	الثالث	6.5 مليون عام	البليوين المليوسين الأوليموسين الأيوسين الباليوسين	ليــل وبايــريش وشيمبر (1833-1874)	- ظهور القرود الأولى - وجود أجناس الثدييات - أسماك عظيمة - انتشار واسع للثدييات	- انحدار في الغابات - انتشار الأعشاب - انتشار واســع للنباتـات الزهرية
حقب الحياة المتوسطة	الثاني	135 مليون عام	الكرياتسي	دهالوي 1822	- انقراض الديناصورات - الطيور الحديثة	- نباتات زهرية أولية
		195 مليون عام	الجوراسي	فــون هوبلـــدت 1795	- الطيور الأولى - عصر الديناصورات	
		240 مليون عام	الترباسي	فون البرتى 1834	- الديناصورات الأولى - الثدييات الأولى - الخنافس الأولى	- انتشار واسع للنباتات
حقب الحياة القديمة	الأول	285 مليون عام	البيرحي	مورشيزون 1841	- ظهور زواحف تشبه الثدييات - ازدياد الزواحف والحشرات - انحدار في البرمائيات	- انحدار في النباتـات غـير الزهرية
		375 مليون عام	الكربوني	كونـير وفيلبـــس (1822)	- الزواحف الأولى - الحشرات الأولى المجنحة - زيادة البرمائيات	- ظـهور النباتـات معــراة البذور - ترسبات الفحم
		420 مليون عام	الديفوني	سجدويك 1839	- الفقاريات الأرضية الأولى -انتشار البرمائيات بأشكال متعددة	- أول نباتات بذرية - تطور النباتات الوعائية
		450 مليون عام	السيلوري		- العصر الذهبي للأسماك - اللافقارايات الأرضية الأولى	- أول نباتات وعائية - أول نباتات أرضية
		520 مليون عام	الأوردوفيشي	لابوورت 1879	- فقارات أولية (أسماك) - زيادة في اللافقاريات البحرية	
		570 مليون عام	الكمبري	سجدويك 1835	- انتشار واسع للترابلويت - انتشار واسع للحية البحرية - انتشار واسع للطحالب	

حقبة ما قبل الكامبري

الشكل(*) (1-1) : سلم الزمن الجيولوجي وتاريخ نشأته

(*) محمد يوسف حسن وزملاؤه. (1990).

أ- حقب الحياة القديمة (الحقب الأول).

ب- حقب الحياة المتوسطة (الحقب الثاني).

جـ- حقب الحياة الحديثة وتشمل على الحقب الثالث والحقب الرابع.

ويوضح الشكل (1-1) جدولاً يظهر الأحقاب الأربع والنظم التي تتشكل منها ووصف الأسماء الحيوانات والنباتات فيها.

ويلاحظ أن ترتيب النظم يبدأ من أسفل إلى أعلى حسب عمرها النسبي؛ فأسفل النظم أقدمها وأعلاها أحدثها.

وعموماً يمكن اعتبار سلم الزمن الجيولوجي بأنه السجل الصخري للأرض الذي يبرز ويوضح تاريخها الطويل، ويشتمل على معلومات توضح التغييرات السريعة والبطيئة التي حدثت عليها، وتفيدنا في دراسة تاريخ الأرض، وتحديد الأزمنة الجيولوجية التي مرت بها.

المرحلة الثالثة: الإنجازات في ميدان الجيولوجيا خلال القرن العشرين الميلادي

يلخص محمد حسن يوسف وزملاؤه (1990م) هذه الإنجازات كما يلي:

1- تطور التكنولوجيا والوسائل التي ساعدت في اكتشاف المعادن في باطن الأرض: ومن أهمها اكتشاف الأشعة السينية من قبل العالم الألماني رونتجن (1890م)، وقد أمكن استخدام هذه الأشعة في دراسة بلورات المعادن والتعرف على تركيبها الداخلي، وكان من نتيجة ذلك الكشف عن مكونات المعادن والتعرف على أسرار تكونها وكيفية نشأتها، مما دفع إلى الأمام عملية استخراجها والتنقيب عنها.

2- تقدير العمر المطلق للصخور: استخدم علماء الجيولوجيا فكرة النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة في تقدير العمر المطلق للصخور. من المعروف أنه يوجد ضمن طبقات الصخور نظائر مشعة مثل اليورانيوم المشع والبوتاسيوم المشع، وهذه تطلق إشعاعات نووية نتيجة تحللها، ون دراسة فترة نصف الحياة (العمر) لمثل هذه النظائر المشعة ومن حسابات كمية المعادن المتوافرة، مشعة ومستقرة، واستخدام جداول خاصة أمكن تحديد العمر المطلق للصخر. وقد

تبين أن أقدم الصخور يعود تأريخها إلى ما يزيد عن أربعة بلايين عام، وكان من شأن هذه الدراسات أنها أسهمت في تحويل الزمن الجيولوجي النسبي في سلم الزمن الجيولوجي إلى زمن أو تأريخ مطلق.

3- دراسة أعماق القشرة الأرضية: قامت محاولات برزت على صورة أعمال حفر لسطح القشرة الأرضية بهدف دراسة التراكيب الجيولوجية فيها والبحث والتنقيب عن المعادن داخلها، وقد بدأ أول مشاريع الحفر في الولايات المتحدة الأمريكية عام (1957م)، عندما بوشر العمل بمشروع عرف بمشروع موهول تم فيه حفر حفرة عميقة في قاع المحيط الهادى (في مكان كان سمك القشرة فيه أقل ما يمكن)، ثم توقف المشروع بعدها نتيجة ارتفاع المخصصات المالية اللازمة لتنفيذه، وفيما بعد ذلك نفذت مشاريع حفر متعددة في أنحاء مختلفة من سطح القشرة الأرضية أسفل قاع المحيطات فيها، وكان من نتائجها إرساء نظرية تصف تكون القارات والمحيطات سميت نظرية تكتونية الألواح (اي بناء القشرة الأرضية، وتصف هذه النظرية حركة الألواح الصخرية المكونة لسطحها والتي تؤدي إلى بناء هذه القشرة)، وتبعاً لنظرية تكتونية الألواح، فإن القشرة الأرضية تتكون من ألواح صخرية ضخمة تبلغ أطوالها أحياناً أطوال بعض القارات والمحيطات الكبيرة، وهذه الألواح الصخرية في حالة حركة مستمرة تقود إلى بناء تضاريس جديدة وهدم بعض التضاريس على سطح القشرة الأرضية.

4- نتائج الدراسات الفضائية: يعتقد من خلال هذه الدراسات أن لأصل الأرض وتاريخها علاقة بتاريخ وأصل ونشأة كواكب المجموعة الشمسية والأجرام الأخرى فيها مما سيؤدي في نهاية الأمر إلى الكشف عن هذا التاريخ.

6-1 أسئلة الفصل الأول:

1- ما علم الأرض ؟ هل هو علم نظري أم علم تطبيقي؟ أو هل هو علم نظري وتطبيقي معاً؟ ناقش موضحاً وجهة نظرك.

2- ما هي اهتمامات الجيولوجيا منذ بداية تأسيسها حتى نهاية القرن العشرين الميلادي؟

3- يُنظر إلى علم الأرض بأنه علم قائم بذاته، ناقش هذه المقولة موضحاً وجهة نظرك.

4- تعتبر المشاهدة (الملاحظة) من أهم الطرق التي يستعملها الجيولوجي في ميدان عمله، وضح هذا الأمر مع طرح مثال أو أكثر.

5- ماذا يقصد بالطرق البديلة؟ متى يلجأ الجيولوجي إلى استخدامها؟ قدم أمثلة توضح ذلك.

6- ما هو التوجه والاهتمام التقليدي لعمل الجيولوجي؟ وضح ذلك.

7- توسع ميدان عمل الجيولوجي بتوسع الاتجاهات الجيولوجية الحديثة، وضح ذلك بطرح مثالين.

8- اشرح مع تقديم مثال توضيحي أو أكثر مفهوم (الاتجاه الكمي).

9- ما هي أهم الإنجازات التي قدمها علماء اليونان (الإغريق) القدماء في ميدان الدراسات الجيولوجية؟ هل كانت توجهاتهم جيولوجية حقيقية؟ وضح ذلك.

10- كان عصر الرومان عصر فقر علمي عموماً، ما أهم إضافاتهم العلمية في مجال الجيولوجيا؟

11- يقال أن ابن سينا هو العالم الجيولوجي الرائد، وضح أهم إنجازاته.

12- أنجز العلماء العرب الكثير في مجال الجيولوجيا، وضح ذلك.

13- ما أسلوب الفرضيات المتعددة، فسر هذا الأسلوب باستعراض الفرضيات التي تناولت أصل ونشأة الصخور؟

14- أذكر أهم إنجازات العلماء التالية أسماؤهم: أردينو، ستينو، فيرنر، هتن.

15- ماذا يقصد بسلم الزمن الجيولوجي؟ ما أهم الإنجازات التي ساعدت على تأسيسه؟

16- كيف يمكن تقدير العمر المطلق لبعض صخور القشرة الأرضية؟

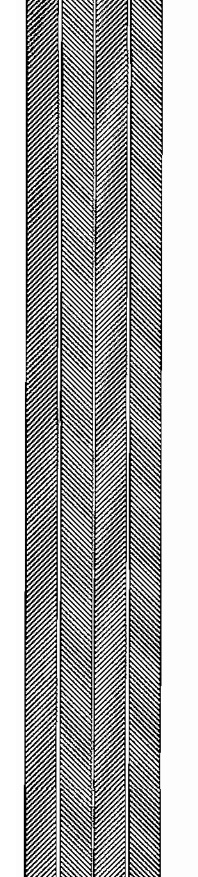
17- قامت محاولات لدراسة مشكلة تركيب القشرة الأرضية وكان من أشهرها أعمال الحفر تحت مياه المحيطات. لم تقدم هذه الدراسات حلاً للمشكلة لكن ظهر نتيجتها إنجازاً جيولوجياً هاماً، علق على ذلك.

18- إن دراسة بلورات المعادن هامة للكشف عنها، كيف يمكن التعرف على معدن متبلور مجهول ؟

19- إن لمبدأ الوتيرة الواحدة استخدامات واسعة في ميدان الجيولوجيا، عرف هذا المبدأ وبين أهميته.

20- ما هي مجالات علم الأرض؟

الفصل الثاني



الكون الواسع والأرض

يقدم هذا الفصل إطاراً علمياً مبسطاً لمفهوم الكون، ومكوناته، وأجرامه من سدم ومجرات ونجوم وتوابع نجمية.

ويركز على دراسة المجموعة الشمسية، ومكوناتها، وأصلها، ويعرض بصورة تفصيلية وموسعة إلى دراسة كوكب الأرض من حيث أصل نشأته، وشكله، وقياساته، والأغلفة التي يتكون منها، والطبقات التي تشكل تركيبه الداخلي.

كما يقدم صورة واضحة للنموذج الحديث الذي يصف التركيب الداخلي للأرض.



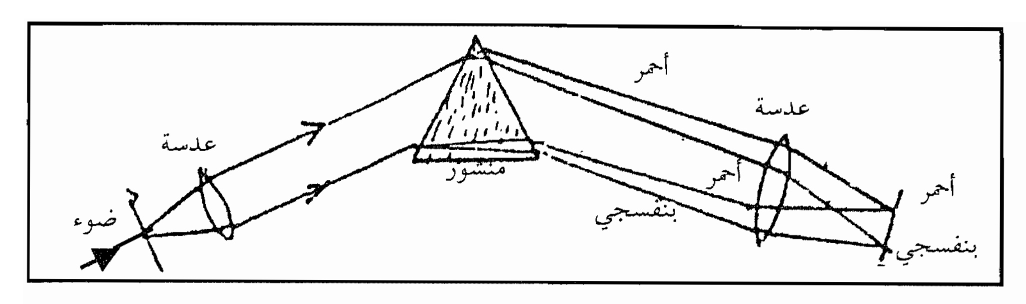
2

الكون الواسع والأرض

2-1 المقدمة

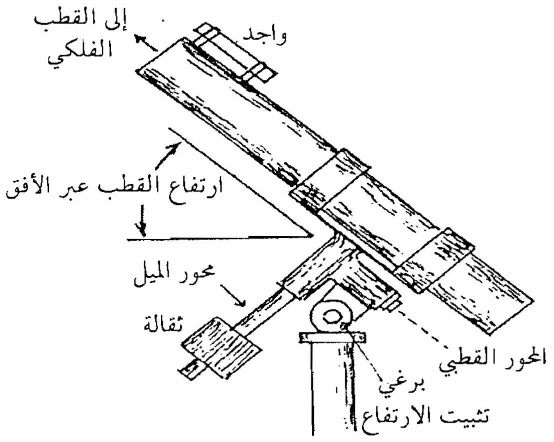
تطورت علوم الأرض (الجيولوجيا) في عصرنا الحاضر نتيجة للإسهامات والإنجازات العلمية التي توصلت إليها الأمم الحديثة، منذ عصر النهضة وحتى القرن العشرين الميلادي. وقد أدى هذا التطور إلى إرساء النظريات العلمية التي تساعد في تفسير المظاهر الجيولوجية والتراكيب الجيولوجية المتعددة، والتي يمكن مشاهدتها على سطح القشرة الأرضية، كما تساعد في تفسير أصل الكون وتأريخه ونشأته.

وفي مجال دراسة الكون الواسع ومكوناته وما يشاهد من الأجرام السماوية فيه، فإن الجيولوجيا تلجأ إلى ما هو متوافر من المفاهيم والحقائق والنظريات في ميدان علم الفلك. كما نعلم فإن هذه الأجرام السماوية يصعب، بل يستحيل، الوصول إليها مباشرة، وعليه، فيصعب دراستها بطرق المشاهدة المباشرة، وما توصل إليه العلماء من معرفة حول هذه الأجرام قد حدث باستخدام الطرق غير المباشرة، وفي مقدمتها استخدام تقنية تحليل الأطياف الضوئية المنبعثة منها إلى الأرض، وكانت وسيلتهم إلى ذلك هي استخدام جهاز المطياف الضوئي. وقد أفادت دراسات التحليل الطيفي للإشاع الضوئي الصادر عن هذه الأجرام في اكتشاف الكثير عن طبيعتها مثل: تركيبها الكيميائي، ودرجة حرارتها، وسرعتها النسبية، وحجمها، وكثافة مادتها، أنظر الشكل (2-1).



الشكل (2-1) : المطياف

وأما دراسة أصل بعض الأجرام السماوية وتاريخ نشأتها، فقد توصل إليه العلماء نتيجة مشاهداتهم الفلكية باستخدام التلسكوبات، والمراصد الفلكية التي قادت إلى وضع نظريات تشرح وتفسر كيفية نشأة هذه الأجرام مثل النجوم، والكواكب السيارة، والأقمار التابعة لهذه الكواكب، وكان أسلوبهم في ذلك دراسة الشمس كنجم قريب من الأرض، ثم وضع نظرية أو أكثر حول نشأتها وتأريخ تطورها، وبعدها يستخدمون هذه النظرية (النظريات) في تفسير نشأة النجوم البعيدة، وما يدعم فرضياتهم وتفسيراتهم، هو تطبيق فرضية الوتيرة الواحدة (كيف يتم لهم ذلك؟) وأما النجوم النابضة (البوليسار) والتي لا ترسل أشعة كهرومغناطيسية فيتم دراستها باستخدام جهاز المذياع الذي يلتقط موجاتها القصيرة. أنظر الشكل (2-2).



الشكل (2-2) : التلسكوب الفلكي

وفي هذا الفصل سنعنى بدراسة الأرض من حيث أصلها، ونشأتها، ومراحل تطورها، ودراسة الأغلفة المحيطة بها وطبقاتها، هذا بالإضافة إلى تناول الكون الواسع وأجرامه بالدراسة أيضاً.

2-2 ما مكونات الكون؟

يرى العلماء أن الكون ما هو إلا مادة وطاقة. وتتركز مظاهر المادة في الأجرام السماوية القريبة منا والبعيدة مثل: السحب السماوية، والنجوم، والكواكب، وما إلى ذلك. أما الطاقة فتتمثل بما يصل إلينا من إشعاع متنوع من هذه الأجرام السماوية مثل: الإشعاع الضوئي، والكوني، والحراري، وما تمتلكه هذه الأجرام من الطاقة الحركية نتيجة لحركتها، والسؤال المطروح هنا هو: ما الأجرام السماوية التي نشاهدها في هذا الكون؟

إن ما نشاهده هو أجرام سماوية قريبة منّا وتتمثل هذه بنجم الشمس، والكواكب السيارة حولها، والنيازك والشهب، والكويكبات، والمذنبات، وتعرف بالمجموعة الشمسية، كما نشاهد أيضاً نجوماً أخرى غير الشمس تقع على مسافات غير شاسعة من كوكبنا الأرض، وأيضاً يقع في مجال مشاهداتنا المجرات والسدم والسحب الغازية.

2-2-1 الأجرام السماوية البعيدة

ربّ سائل يسأل: هل المسافات الشاسعة التي تفصل بين الأجرام السماوية البعيدة عنا هي فراغ كامل؟ إن هناك اتفاق بين العلماء على وجود مادة متناثرة متباعدة في هذا الفراغ هي غاز الهيدروجين بكثافة ضئيلة تصل إلى حوالي ذرة واحدة لكل 1سم3 من الفراغ، وسنتناول فيما يلي بايجاز التعريف بالأجرام السماوية البعيدة في الكون.

1- السحب الغازية

تتكون هذه السحب الغازية التي يمكن أن يشاهدها الراصد الفلكي في الكون، من غاز الهيدروجين بكثافة عالية نسبياً، وهذه السحب الغازية تغطي

مسلحات شاسعة جدا من الكون، والمسافات بين أطرافها لا متناهية يصعب تقديرها بوحدات القياس المعروفة لدينا مثل: الكيلومتر، والميل، والتي نستخدمها لتقدير المسافات على الأرض، وتستخدم لهذا الغرض وحدة السنة الضوئية، وهي وحدة قياس المسافة بين الأجرام السماوية وتساوي المسافة التي يقطعها شعاع الضوء في سنة كاملة.

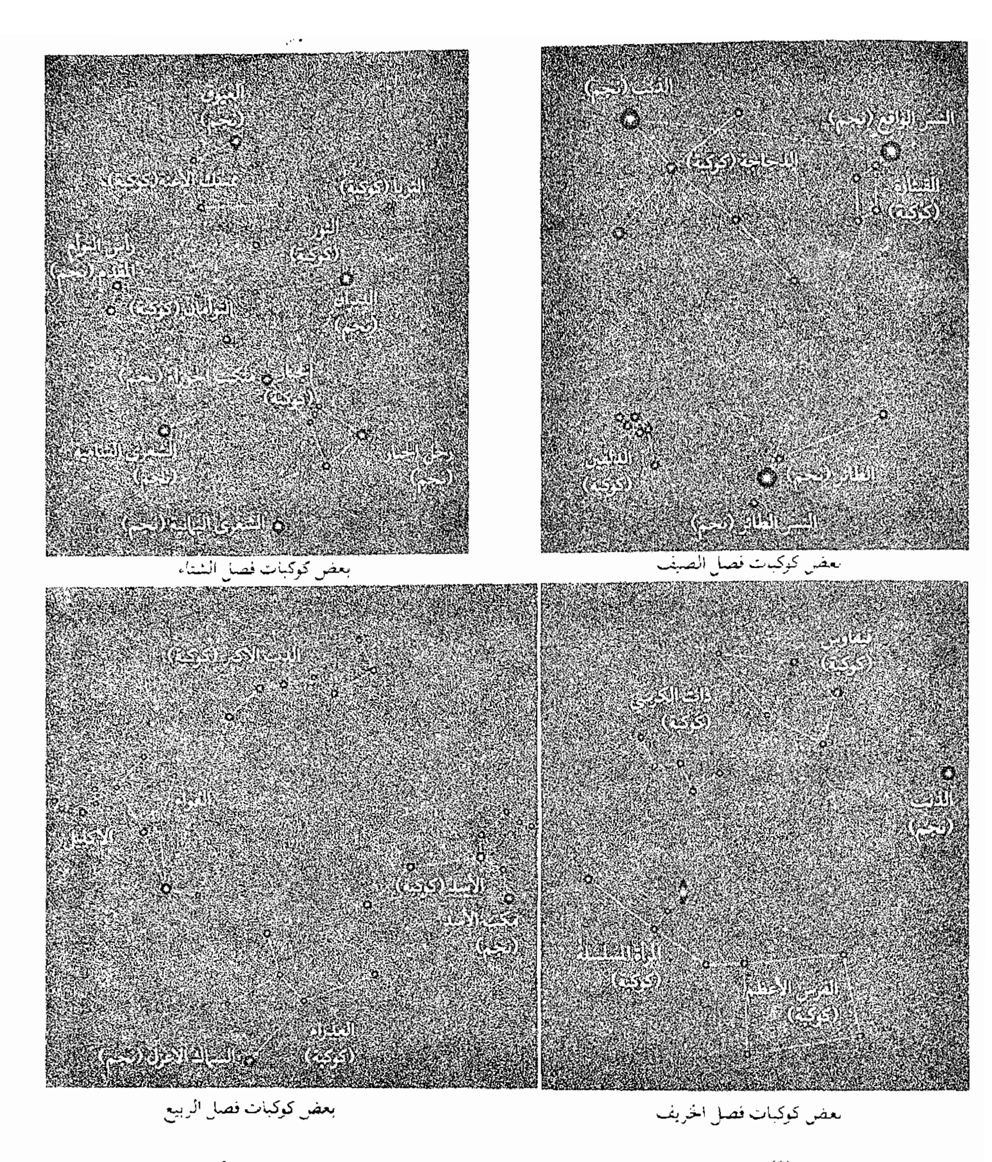
سؤال: إذا علمت أن سرعة الضوء هي (3×10^5) كم/ث. إحسب مقدار السنة الضوئية بوحدة الكيلومتر أولا، ثم الميل ثانيا، علما بأن كل (5) ميل تساوي (8) كيلومترات.

2- السدم

وهي أجرام سماوية بعيلة عن كوكبنا الأرض، وتتميز هذه السدم بأنها ذات حجم ملحوظ وواضح وشكل محدد ومعروف قد يكون منتظما لبعض السدم، وغير منتظم لسدم أخرى. وأما السدم القريبة من الشمس فهي عبارة عن كتل غازية وغبارية أحيانا، وفي بعض الحالات تكون غازية فقط، ومن أمثلتها: سديم السرطان، الذي تكون نتيجة إنفجار نجمي هائل سنة (1054) ميلادية. وهناك سدم أخرى تقع على مسافات بعيلة جدا عن الشمس، وتتكون هذه السدم من عدد هائل من النجوم ترتبط معا بارتباط تجاذبي وتعرف باسم المجرات، ومن أمثلتها: مجرة درب التبانة، والسديم الكبير في كوكبة أندروميدا، والسديم الكبير في كوكبة أوريون، والنوع الأخير من السدم، وهو المجرات، تتميز باتساعها وبحجومها الهائلة.

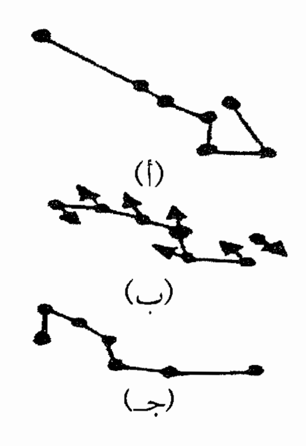
3- الكوكبات النجمية

يشاهد أحيانا في قبة السماء مجموعات من النجوم ذات الترتيب المميز، ويمكن التعرف على هذه الكوكبات من هذا الترتيب، وقد تخيل القدماء أنها تشبه أشكال بعض الحيوانات المعروفة والأشخاص لديهم. وتبعا للحركة السنوية للأرض حول الشمس فإن كوكبات مختلفة تظهر في قبة السماء وفق فصول السنة المختلفة، انظر الشكل (2-3-أ)، وعادة يستخدم الفلكيون الكوكبات لتحديد اتجاهات الكون والتعرف على أماكن النجوم فيه، لأن هذه النجوم التي تشكل الكوكبة في حالة حركة بطيئة بعضها إلى بعض، ولذلك فيمكن تحديد هذه الحركة التي تؤدي إلى تغيير شكل الكوكبة، انظر الشكل (2-3-ب).



(أ)(*) الكوكبات النجمية التي نشاهدها في الفصول الأربعة

(*) من كتاب: علوم الأرض والبيئة. المديرية العامة للمناهج. الصف الثاني الثانوي العلمي. ص99.

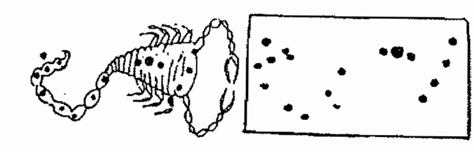


(ب)(*) كوكبة الغطاس الكبير.

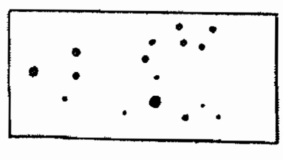
(1) كوكبة الغطاس كما كانت منذ 200.000 عام.

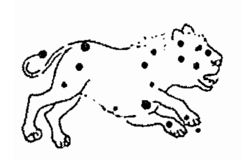
(2) الكوكبة كما تظهر الآن.

(3) الكوكبة كما يتوقع العلماء أن تكون عليه بعد 200.000 عام من الآن.



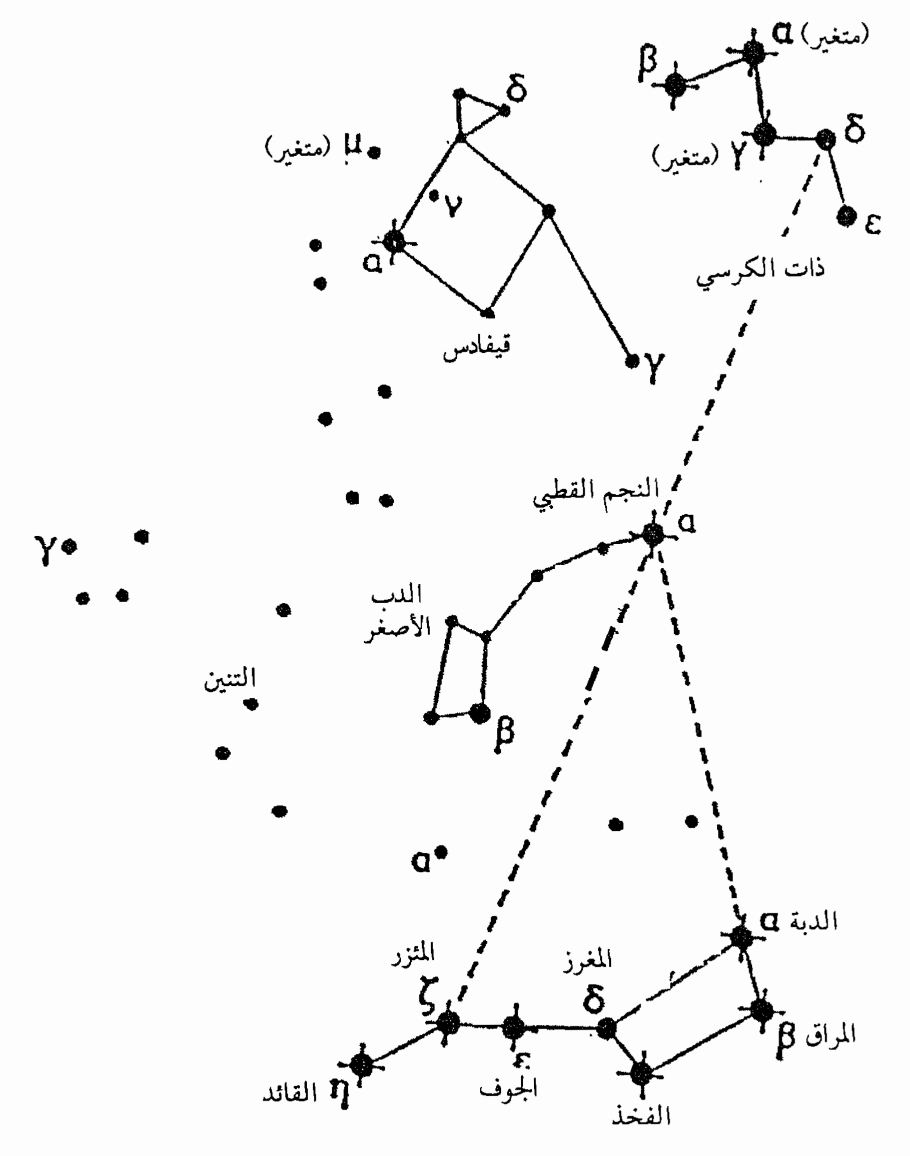
(ج) انظر إلى ترتيب النجوم الذي يوحي لكل إنسان بصورة العقرب.





(د) كوكبة الأسد

(**)من كتاب: أساسيات علم الجيولوجيا: د. محمد يوسف حسن وآخرون ص 36.



(هـ) بعض الكوكبات النجمية

الشكل (2-3) : بعض النماذج التي تمثل كوكبات نجمية

4- المجرات

تبين للعماء، نتيجة لتطور تقنيات الرصد الفلكي ووجود مجموعات من النجوم ترتبط حذبيا بعضها إلى بعض، وتختلف هذه المجموعات النجمية في أعدادها،

فهناك مجموعة تتكون من نجمين إثنين فقط، وبعض المجموعات يبلغ عدد نجومها مئات الألوف، وأحياناً بضع ملايين، أو مئات الملايين من النجوم. فما هي المجرات؟ تعرف بأنها مجموعة نجمية تتكون من أعداد هائلة من النجوم والسدم الغازية التي تتخللها، وهذه النجوم يجمعها ترابط تجاذبي بعضها الي بعض، ونتيجة لذلك فإنها تتحرك حركة مشتركة حول مركز المجرة ويتحرك كل نجم حركة نسبية بالنسبة للنجوم الأخرى في المجرة.

وهناك أنواع متعددة من المجرات ومنها ما يلي:

أ- المجرات الإهليجية: وتتجمع نجوم هذه المجرات بعضها إلى بعض بتأثير الجاذبية فتكون شكلاً إهليجياً. وهذا النوع من المجرات لا تحتوي على أية غازات أو دقائق الغبار.

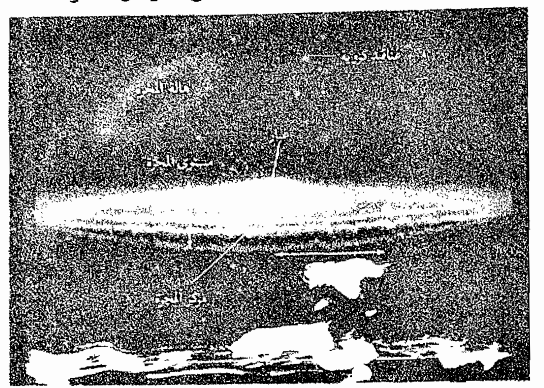
ب- المجرات اللولبية (الحلزونية): وتتجمع نجوم هذه المجرات بفعل الجاذبية على شكل حلزوني مثل مجرة درب التبانة.

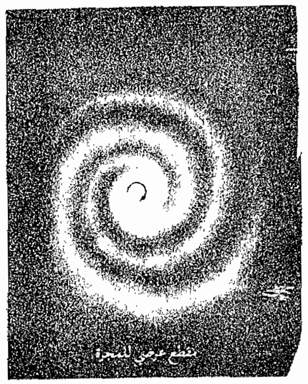
وتضم هذه المجرات كماً هائلاً من النجوم، تشكل مع بعضها البعض نظاماً مسطحاً يوحي بمظهرها الحلزوني الخارجي، وهذا المظهر يوضح دورانها الفعلي حول نفسها، ويحتوي هذا النوع من المجرات على غازات وغبار.

جـ- المجرات غير المنتظمة: وهي مجرات غير منتظمة في توزيع النجوم في أعماقها، ولذا يصعب تصنيفها ضمن الصنفين السابقي الذكر. ومن أشهر المجرات هي مجرة درب التبانة، ومجرة ملجلان، ومجرة المرأة المسلسلة، أنظر الشكل (2-4).

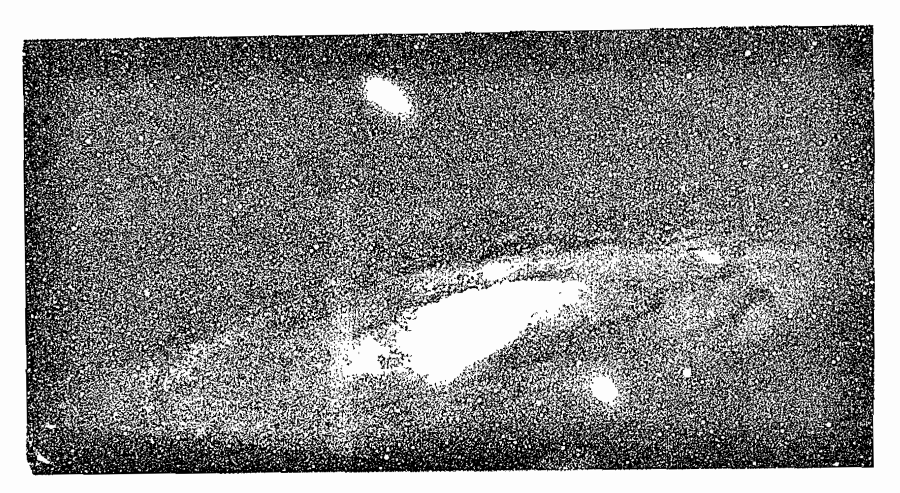
أما مجرة درب التبانة (أو الطريق اللبني حسب تسمية الإغريق لها) وهي مجرتنا، فتتكون من حوالي ثلاثين بليون نجم، وشمسنا هي إحدى هذه النجوم، وتعتبر هذه المجرة من أنواع المجرات اللولبية، وتبدو مجرة درب التبانة للمحدقين بها، أنها تشبه كرة مضيئة، يوجد على أطرافها نجوم بأعداد أقل من النجوم في مركزها، وتتميز النجوم عند الأطراف أنها قديمة، بينما تلك عند مركز الكرة فهي نجوم حديثة التكوين نسبياً، وأعدادها كبيرة نسبياً، ولذا فإن معظم النجوم المكونة لمجرة درب التبانة متمركزة في منطقة قرصية دقيقة نسبياً منتفخة عند الوسط، ويبلغ قطرها

110.000 سنة ضوئية وسمكها يقدر بعشر قطرها تقريباً. وتقع الشمس في وسط أحد الأطراف الرقيقة لهذا القرص، أنظر الشكل (2-4). وتبعد عن مركز المجرة 30.000





أ- مجرة درب التبانة



ب- المرآة المسلسلة

الشكل (2-4) : مجرة المرأة المسلسلة ودرب التبانة.

سنة ضوئية، ولقد بينت الدراسات الفلكية أن مجرتنا تدور حول نفسها، ويعني هذا أن شمسنا تتحرك معها أيضا. وتبين أيضا أن الشمس تسير بمسار دائري حول مركز المجرة بسرعة هائلة جدا، ويستغرق مجرة درب التبانة لإتمام دورة كاملة لها حول نفسها زمن يقدر تقريبا بـ 200 مليون سنة ضوئية، وتسمى هذه المدة الزمنية بالدورة المجرية. وتوجد المجرات على شكل تجمعات مجرية متفاوتة العدد، ومرتبطة بعضها إلى

البعض بقوة الجاذبية، وقد يكون عدد التجمع المجري بضعة عشرات فتسمى المجموعة المجرية مثل المجموعة المحلية وتشكل من 27 مجرة. وهناك عدد من تجمعات المجرات قد تصل لبضعة مئات أو آلاف من المجرات وتسمى العناقيد المجرية مثل عنقود العذراء.

5- النجوم:

تشاهد هذه الأجرام السماوية كنقاط مضيئة ليس لها حجم ملحوظ. وبذلك تختلف عن السدم بهذه الخاصية، حتى لو تم رصد هذه النجوم بأضخم أنواع التلسكوبات، وما توصل إليه العلماء من معرفة عن النجوم تعود إلى دراسة وتحليل الموجات الكهرومغناطيسية بشتى أطيافها مثل: الأطياف الضوئية المنبعثة عن النجم، فالنجم جرم سماوي تبلغ درجة الحرارة والضغط في باطنه قدراً هائلاً، وهذا يؤدي إلى توليد كميات هائلة من الطاقة تنبعث عن النجم، ولذلك فهو مضيء بذاته (أو كان كذلك في الماضي)، وتختلف النجوم في خصائصها اختلافاً كبيراً، فمن حيث التركيب: يتكون بعضها من غازات تقل كثافتها كلما ابتعدنا عن مركز النجم، وتتكون نجوم أخرى من مادة صلبة، وهناك نجوم أخرى تتكون من نيوترونات، ونوع من النجوم يتكون من مادة غريبة ذات كثافة عالية جداً لا يعرفها الإنسان، كما أن سلوك هذه المادة لا تنطبق عليه القوانين العلمية التي يطبقها الإنسان على المادة. وأيضاً تختلف النجوم في حجومها وألوانها، ولذلك فيمكن أن نشاهد ثلاثة أنواع من النجوم تبعاً لحجومها ولونها، وهي التالية:

1- النجوم الأقزام البيض: وهي نجوم تبلغ حجومها حجم الكرة الأرضية، وكثافة مادتها عالية جداً وقد تصل درجة حرارتها عند سطحها ما بين 30.000^{0} – 40.000° مئوية، ومن أمثلتها نجم الشعرى اليمانية.

2- النجوم المتوسطة البيض أو الصفر: ومنها الشمس، وتبلغ درجة الحرارة عند سطحها بين 5500^{0}– 7000° مئوية.

3- النجوم العملاقة (المردة) الحمر: وهي نجوم يزيد قطر الواحد منها عن 500 مليون كيلومتر، ومن أمثلتها نجم العيوق، وأنتاريس، وتقدر درجة حرارتها بـ 3500° مئوية.

وتختلف النجوم في خصائص أخرى مثل: الشكل، والدوران، وشدة الإضاءة، وما إلى ذلك. وأما الشمس، فهي نجم المجموعة الشمسية، وهي مجموعتنا، وتعتبر الأرض كوكب سيّار فيها، ويعتقد العلماء من تحليل ضوئها أنها تتكون من الهيدروجين، والهيليوم (بنسبة 1:1 تقريباً)، ومن بعض العناصر الأخرى مثل:الكربون، والنيتروجين، وهم يعتقدون أيضاً أن درجة الحرارة تصل إلى حوالي 14 مليون درجة مؤية، والضغط يصل إلى بليون ضغط جوي في باطن الشمس، وتؤدي مثل هذه الظروف الشديدة إلى تغيير في طبيعة المادة وحالتها، كما نشاهدها في حياتنا على الأرض. وتتشكل المواد في أعماق الشمس من أنوية تخلو أحياناً من الإلكترونات التي تدور في المدارات حولها، وأحياناً توجد بعض الإلكترونات تدور في المدارات الداخلية القريبة من أنوية ذرات المواد المكونة للشمس، وكما أن مثل هذه الشروط والظروف الشديدة تؤدي إلى اندفاع الذرات بسرعة هائلة ينتج عنها تصادم هذه الذرات والتحامها مع بعضها البعض، ويتشكل عن ذلك تفاعلات ذرية، سبق أن درسنا عنها، هي التفاعلات النووية الاندماجية (الالتحامية). ويمكن تمثيل هذه التفاعلات الاندماجية، في حالة تفاعل واندماج ذرتي هيدروجين كما في المعادلة النووية التالية:

$${}_{1}^{2}H \;+\; {}_{1}^{3}H \xrightarrow[\text{وضغط}]{\text{طاقة}} {}_{2}^{4}He \;+\; {}_{0}^{1}n \;+\; \text{طاقة هائلة}$$

دوتيريوم　　تريتيوم

والطاقة الهائلة الناتجة في التفاعل النووي الاندماجي تكون نتيجة لتحول جزء من المادة إلى طاقة حسب معادلة أينشتاين التالية:

كمية الطاقة الناتجة = كتلة المادة المتحولة × مربع سرعة الضوء

(وحدة الغرام)　　(سم/ث)

ومن المعروف أن النجوم، ومثلها الشمس، تشع كافة أنواع الإشعاعات الكهرومغناطيسية بصورة مستمرة منذ المراحل الأولى لنشأتها، وهذه الإشعاعات تظهر على صورة طاقة هائلة تنبعث عنها، ولذلك فلا يمكن لهذه النجوم أن تستمر

على هذه الحال إلى أزمنة لا متناهية، وإنما سيكون لها أعمار محدودة. والسؤال الذي نطرحه هنا هو ما يلي: كيف تنشأ النجوم؟ وما هي مراحل تطورها؟

ولإجابة السؤال الأول: كيف تنشأ النجوم؟ فيعتقد العلماء أن السدم الكونية هي محاضن النجوم التي تنشأ فيها، وهذا يعني، أن النجم ينشأ ويتطور من سديم غازي يظهر في إحدى مناطق السديم بكثافة أعلى من كثافة المناطق المجاورة له. ويؤدي هذا إلى تقلص منطقة السديم الغازي ذي الكثافة العالية نتيجة لقوى التجاذب الذاتي بين أجزائها، ويطلق على هذه المنطقة اسم النجم الأولي. وبزيادة التقلص الجاذبي واقتراب الأجزاء المتساقطة نحو المركز تتحول طاقة الوضع في هذه الأجزاء إلى الطاقة الحركية، ويؤدي هذا إلى زيادة درجة حرارتها، وتشع ضوءاً. ومع زيادة حجم الإشعاع، يزداد فقدان الطاقة من سطح النجم، فيقل ضغطه ودرجة حرارته، وهذا ينشأ عنه زيادة تقلص النجم الأولي، مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارته بشكل ملحوظ، وعندها وبعد ذلك يتساوى الضغط داخل النجم الأولي، مع قوة التجاذب الذاتي في داخله، فتزداد كتلة النجم، وتبدأ عندها التفاعلات النووية الإندماجية في داخل النجم، وتكون مصدراً رئيسياً لطاقة النجم، ويسمى النجم في هذا الطور بنجم التتابع الرئيسي، وينبعث عنه طاقة مصدرها تفاعل الاندماج النووي بين ذرات الهيدروجين التي نشأ منها النجم.

ولإجابة السؤال الثاني وهو: ما مراحل تطور النجم؟

إن هناك عدة مراحل وأطوار، وهي كما يلي:

1- أثناء إشعاع النجم التتابع الرئيسي، فيما بعد، فإن هناك احتمال نفاذ كمية الهيدروجين التي تساعد على إستمرار تفاعل الاندماج النووي المسؤول عن انبعاث الطاقة، لذا فإن نوعاً آخر من تفاعلات الاندماج تحصل بين ذرات العناصر الأخرى الأكبر كتلة من ذرات الهيدروجين، وتؤدي إلى انبعاث كميات أكبر من الطاقة من الحالة الأولى، تفوق قوى الجاذبية داخل النجم، لذا فإن النجم يزداد حجمه نتيجة لتمدده ويتحول إلى نجم عملاق (مارد) أحمر.

2- وإذا نفذت المادة الجديدة، البديلة للهيدروجين، المغذية للتفاعلات النووية الاندماجية سالفة الذكر، يعود النجم إلى الانكماش ويتحول إلى قزم أبيض أو

أبيض- أزرق، ويرافق ذلك حدوث إنفجار في النجم ويسمى هذا الإنفجار بـ (نوفا)، حيث تنبعث منه كمية كبيرة من الطاقة في فترات زمنية لا تتعدى الأيام والأسابيع، وينتج عن ذلك ظهور نجم براق في السماء لفترة زمنية محدودة، وبعدها يختفي النجم أو يقل إشعاعه.

3- وأما النجوم التي تحتوي على كميات كبيرة من مادة الوقود الخاص بالاندماج النووي، وبعد أن تمر بمرحلة المارد الأحمر، فإن هذه النجوم تنفجر انفجاراً هائلاً أثناء مرحلة إنكماشها، ويسمى هذا الإنفجار السوبونوفا، وهو أشد وأقوى عشرات آلالاف من المرات من إنفجار النوفا، ويفقد النجم على أثر ذلك أكثر من نصف كتلته، ومن الأمثلة على إنفجار السوبرنوفا، هو سديم السرطان، الذي نتج عن إنفجار نجمي هائل من النوع المذكور عام (1054م)، وينتج عن إنفجار السوبرنوفا نجوم صغيرة الحجم مادتها ثقيلة جداً تتكون من النيوترونات ولا يمكن رؤيتها بأجهزة التلسكوب العادي، ويمكن رصدها من خلال التقاط موجات راديو قصيرة تنبعث عنها، وهذه الموجات يمكن التقاطها بأجهزة استقبال موجات الراديو، وبذلك يمكن تحديد موقع هذه النجوم الصغيرة المسماة باسم البوليسار أو النجم النابض، وبعد أن يفقد نجم البوليسار كل طاقته، فإنه يعود مرة أخرى إلى الانكماش ويتحول إلى ما يعرف بـ (الخرق) أو (الثقب) الأسود. ومن الجدير بالذكر أن معلومات العلماء عن الخرق الأسود قليلة، لكن يمكن اكتشافه من خلال قدرته على امتصاص أشعة الضوء (الفوتونات) التي تنبعث عن نجوم أخرى بعيدة، عندما تمر هذه الأشعة بقربه فيمتصها ولا تصل إلى كوكبنا الأرض.

إقدار النجوم

وهذه ظاهرة طبيعية تتعلق بلمعان النجوم وشدة إضاءتها، وهي ظاهرة الإقدار الخاصة بالنجوم، ولا بد أن نتوقف عندها قليلاً. إذا نظرت إلى قبة السماء في الليل، فإنك تلاحظ تفاوت الأجرام السماوية والنجوم في إضاءاتها أو لمعانها، فبعضها أكثر لمعاناً من بعضها الآخر ويعرف هذا باللمعان الظاهري للنجوم، ويقاس بمقدار الطاقة الإشعاعية التي تصل من النجوم إلى وحدة المساحة على سطح ما بوحدة

الزمن، وقد درس العالم اليوناني (هيبارخوس) (القرن الثاني قبل الميلاد) نجوماً في السماء وقام بتصنيفها وفق إضاءاتها، فأعطى للنجوم الأشد إضاءة قدراً واحداً، والتي تليها في شدة الإضاءة القدر الثاني، وهكذا، وقد أعطى النجوم الباهتة والتي تكاد لا ترى القدر السادس، وفي دراسة حديثة لظاهرة الإقدار تبين أن إضاءة نجم من القدر الأول تكون أكبر من إضاءة نجم من القدر الثاني بـ (2.5) ضعفاً، وكذلك فإن نجماً من القدر الرابع ألمع من نجوم القدر الخامس بـ (2.5) ضعفاً.

ولكن لماذا تختلف النجوم في لمعانها الظاهري؟

يعتمد لمعان النجوم على عاملين وهما:

1- اللمعان الحقيقي للنجم (شدة إضاءته)، ويعرف: بأنه كمية الطاقة الضوئية التي تشعها وحدة المساحات من سطحه في الثانية الواحدة.

2- بعد النجم عن الأرض، ويتناسب اللمعان الظاهري للنجم عكسياً مع مربع بعده عن الأرض.

2-2 المجموعة الشمسية

وتتكون من عدد من الأجرام ومنها ما يلي:

1- الشمس

علمت أن المجرة التي نعيش عليها هي عبارة عن مجموعة لولبية الشكل تتكون من النجوم وتوابعها، وتشبه شكلاً كروياً شبه مكتمل من النجوم يزيد تركيز النجوم عند الوسط وتأخذ شكل القرص. وشمسنا هي نجم من هذه النجوم، وهي متوسطة الحجم ومعتدلة البريق، وتقع على حافة مجرة درب التبانة، والشمس تعتبر مركز المجموعة الشمسية، ويدور هذا النجم حول نفسه إضافة لدورانه حول محور المجرة، ومعظم ما يصل إلى الأرض من طاقة ضوئية وحرارية يعود إلى الشمس حيث تبلغ درجة الحرارة عند سطحها (6000°) مئوية، وفي أعماقها تصل إلى (14) مليون درجة مئوية.

ويتكون التركيب الداخلي للشمس من عدة طبقات وهي كما يلي:

1- نواة الشمس: وتمثل الجزء الداخلي للشمس أو القلب النابض فيها ويحدث فيه التفاعلات النووية الاندماجية، ويشبّه بالفرن الذي يحترق فيه الهيدروجين ليكون

أنوية ذرات الهيليوم، وينطلق نتيجة لذلك قدر كبير وهائل من الطاقة الحرارية والضوئية، وتبلغ درجة حرارة نواة الشمس بحوالي (20) مليون درجة مئوية.

2- الغلاف الضوئي: وهو طبقة رقيقة نسبياً يبلغ سمكه حوالي 300 كليومتراً ويمثل السطح الخارجي للشمس، وتبلغ درجة الحرارة عند هذا الغلاف (6000°) مئوية وتوجد فيه البقع الشمسية.

3- الطبقة المتوسطة: وتمثل منطقة واسعة من الشمس.

4- الغلاف الجوي السفلي: ويتكون هذا الغلاف من طبقة كثيفة من غاز الهيدروجين ويبلغ سمكه (6000) كيلو متراً، وتحدث فيه انفجارات غازية كثيفة تظهر على شكل أقواس.

5- الإكليل: ويمثل الجزء الخارجي من الغلاف الجوي للشمس، ويتكون من غازات تقل كثافتها كلما ابتعدنا عن الشمس، ويمتد إكليل الشمس إلى مسافة قد تصل (50) مليون كيلو متراً حيث يصل إلى مستوى موقع الكوكب عطارد، ويفضل مشاهدة إكليل الشمس أثناء كسوفها.

♦ **الرياح الشمسية**

هي ظاهرة للشمس تعرف بالريح الشمسي، وتحدث هذه الظاهرة نتيجة انبعاث جسيمات مكونة من البروتونات وأنوية ألفا والإلكترونات والذرات من جسم الشمس، وتنتشر مبتعدة عنها في جميع الاتجاهات من حولها، ولما كانت الرياح الشمسية مكونة من جسيمات مشحونة تسير بسرعة عالية جداً فإنها تسبب أضراراً خطيرة على الحياة البشرية، ولوجود الغلاف المغناطيسي للأرض، والذي يعرّف بحزام فان ألن، فإنه يمتص هذه الجسيمات ويوقفها في طبقات الجو العليا وبالتالي يتيسر استمرار الحياة على سطح الأرض.

♦ **النشاط الشمسي**

نتيجة للتفاعلات النووية الاندماجية التي تحدث في جسم الشمس، فإنها تبدي نشاطات تستمر دورة كلها منها (11) عاماً، ثم تتكرر بعد ذلك، وينجم عنها ظهور ما يلي على سطح الشمس:

أ-البقع الشمسية: وهي مناطق داكنة على سطح الشمس تظهر قرب الجانب الشرقي، ثم تدخل في جسم الشمس لتختفي في الجهة الغربية منها، ويتراوح قطر هذه البقع بين الصغير والكبير، ويعود السبب في لونها الداكن الأسود إلى أن درجة حراتها أدنى من درجة حرارة المناطق المجاورة لها على سطح الشمس.

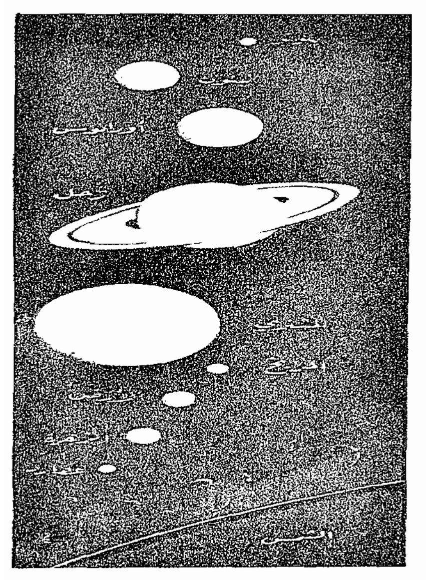
ومما يجدر ذكره هنا أن لدورة النشاط الشمسي تأثير واضح في الاتصالات اللاسلكية التي ينظمها الانسان على سطح الأرض.

- **الألق الشمسي**

ويبدو على شكل أنواع مختلفة من اللمعان، تظهر في الغلاف الجوي السفلي للشمس، وينتج عن إنفجارات تحدث بصورة سريعة ولا تدوم طويلاً بالقرب من البقع الشمسية، ويظهر على صورة اندفاعات أو ألسنة غازية مشتعلة تمتد آلاف الكيلومترات خارج سطح الشمس.

2- الكواكب السيارة

وهي أجرام أو أجسام سماوية باردة ومعتمة ولذا فهي غير مضيئة بذاتها، ولعدم وجود وقود عليها، فلا ينبعث عنها أي نوع من أنواع الطاقة، وفي الوقت نفسه، فإن الكواكب تعكس أشعة الشمس عن سطوحها، ويمكن هذا الراصد الفلكي من رؤيتها، أنظر الشكل (2-5).

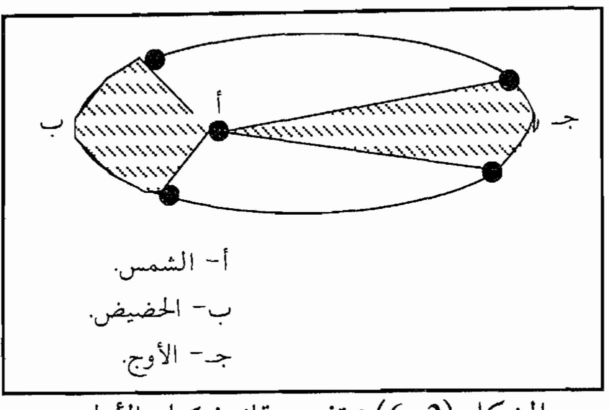


الشكل (2-5) : الكواكب السيارة حول نجم الشمس

- **مدارات الكواكب وسرعة دورانها**

جميع الكواكب التسعة تدور في مدارات إهليجية حول الشمس، وللمدار بؤرتان تقع الشمس في واحدة منهما، بحيث يكون الكوكب أحيانا قريبا من

الشمس، ويسمى هذا الموقع بالحضيض، وأحياناً أخرى يكون بعيداً عنها ويسمى الموقع بالأوج، وهذا هو قانون كبلر الأول، أنظر الشكل (2-6).



الشكل (2-6) : تفسير قانون كبلر الأول

ويؤكد كبلر أن جميع الكواكب تقع في مستوى واحد هو دائرة إستواء الشمس، لكن هناك شذوذاً لبعض الكواكب، فهناك انحراف أو شذوذ للكوكب بلوتو، كما أن كوكب الأرض يعاني من إنحراف في مداره، ويقدر بحوالي (14) درجة عن دائرة استواء الشمس، ويستقر أي كوكب من الكواكب التسعة تحت تأثير قوتين تبقيانه في نفس مداره حول الشمس، أولهما قوة جذب الشمس التي تحاول بها الشمس ابتلاع الكوكب، وهذه القوة تتناسب طردياً مع كتلتي الشمس والكوكب. وعكسياً مع مربع البعد بينهما حسب قانون الجذب العام للعالم إسحق نيوتن، وأما القوة الثانية فهي قوة الطرد المركزية التي تحاول إخراج الكوكب عن مداره لتبعده عن الشمس.

وفي قانونه الثاني، أوضح العالم كبلر أن الكوكب يغير من سرعته وفقاً لموقعه في مداره الإهليجي حول الشمس، فهو يسرع إذا كان قريباً من الشمس، ويبطء اذا ابتعد عنها، بحيث تبقى المساحة التي يغطيها نصف قطر مدار الكوكب مع الشمس متساوية في زمن ثابت.

وأما فترة دوران الكوكب حول الشمس فهي سنته الكوكبية، وتطول كلما بعد الكوكب عن الشمس وذلك يعود لسببين وهما التاليان:

1- مدار الكوكب سيكون أطول.

2- سرعته على هذا المدار الطويل ستكون أبطأ.

وأما قانون كبلر الثالث فيتعلق ببعد الكوكب عن الشمس، وينص على أن النسبة بين مكعب بعد الكوكب عن الشمس (ف^3)، ومربع سنته الكوكبية (ن^2) يساوي مقدارا ثابتا، أي أن (ف^3 / ن^2) تساوي مقدارا ثابتا وكمثال على ذلك فإن بعد الكوكب عطارد هو 0.39 وحدة فلكية، = 88 يوما أي 0.241 سنة أرضية وبالتطبيق في العلاقة (ف^3 / ن^2) نجد أنها تساوي واحد تقريبا.

- **قانون بود**

وقد توصل العالم بود سنة (1772م) إلى وضع قانون عرف باسمه يوضح طريقة تحديد الأبعاد التقريبية للكواكب التسعة عن الشمس، ويقوم أساس القانون على اعتبار أن بعد الأرض عن الشمس يمثل بوحدة بعد واحدة أنظر الجدول (2-1)، فإذا اعتبرنا أن بعد الكوكب عطارد عن الشمس هو (0.4) وحدة يكون بعد الكوكب الذي يليه وهو الزهرة = 0.4 + 0.3 = (0.7) وحدة، وأما الأرض فيكون بعدها = 0.4+2(2×0.3) = (1) وحدة. وأما المريخ فبعده = 0.4 + 2 (2 × 0.3) وبذلك يكون بعده التقريبي (1.6) وحدة: وأما الكوكب الذي يلي المريخ فإن بعده = 0.4+2(2× 0.3) = (2.8) وحدة وقد تبين فيما بعد أن هناك عدد من الكويكبات تقع في حزام عند هذا البعد عن الشمس. ويلاحظ أن قانون بود ينطبق أيضا على أبعاد الأقمار التي تدور حول بعض الكواكب مثل المشتري، وزحل، وأورانوس، وتأتي أهمية قانون بود في ثلاثة أمور وهي كما يلي:

1- أنه عامل هام يدخل في وضع النظريات والتصورات حول أصل ونشأة الشمس والكواكب، ولذا فكل نظرية تعنى بتفسير أصل الشمس لم تأخذ بقانون بود تمثل قصورا في مضمونها.

2- ساعد قانون بود على اكتشاف بعض الكواكب التي لم تكن معروفة حين اكتشاف القانون مثل أورانوس، ونبتون، وبلوتو.

الجدول (2-1)(*): الكواكب السيارة

المميزات / اسم الكوكب	عدد الأقمار	الكتلة	كثافة مادة الكوكب غم/سم^3	طول اليوم بالساعات	مدة الدوران حول الشمس	المسافة بين الكوكب والشمس	
						المسافة الفعلية	المسافة مقدرة حسب قانون بود
عطارد	–	0.06	5.4	14.6	0.24	0.39	$0.4=0+0.4$
الزهرة	–	0.81	5.2	5832	0.62	0.72	$0.7=0.3+0.4$
الأرض	1	1	5.5	24	1	1.00	$1=(0.3\times2)^{0}2+0.4$
المريخ	2	0.11	3.9	24.6	1.88	1.52	$1.6=(0.3\times2)^{1}2+0.4$
حزام الكويكبات						2.9	$2.8=(0.3\times2)^{2}2+0.4$
المشتري	13	317.9	1.3	9.8	29.5	5.2	$5.2=(0.3\times2)^{3}2+0.4$
زحل	10	95.2	0.7	10.2	29.5	19.54	$10=(0.3\times2)^{4}2+0.4$
أورانوس	5	14.6	1.2	11.0	84.0	19.18	$19.6=(0.3\times2)^{5}2+0.4$
بنتون	2	17.2	1.7	16	165	20.6	$38.8=(0.3\times2)^{6}2+0.4$
بلوتو	–	؟	؟	153	348	39.44	$77.2=(0.3\times2)^{7}2+0.4$

3- اكتشاف حزام الكويكبات: تبعا لقانون بود، فإنه قد تنبأ بوجود كوكب على بعد (2.8) وحدة، ولكن العلماء لم يكتشفوه، وفيما بعد اكتشف العالم نيازي الكويكب سيريس في المكان الذي حدده قانون بود، ثم اكتشف حزام من الكويكبات في مدارات قريبة من الكويكب سيريس، ويبلغ عددها حوالي (50) ألف كويكبا. ويعتقد العلماء أن أصلها هو وجود كوكب لم يتم تكوينه تحول إلى مجموعة الكويكبات في حزام الكويكبات على بعد (2.8) وحدة من الشمس.

- **ما طبيعة الكواكب؟**

تقسم الكواكب حسب تركيب سطحها الي نوعين:

1- الكواكب الصخرية

ومجموعة هذه الكواكب هي عطارد، والزهرة، والمريخ، والأرض، وبلوتو، إضافة إلى القمر الذي يدور كتابع للأرض، وتتميز هذه الكواكب بما يلي:

(*) محمد حسن يوسف (1990).

أ- تركيب سطحها صخري يشبه إلى حد كبير التركيب الصخري للأرض.

ب- تركيب مادة الكواكب الكبيرة نسبة إلى تركيب جسم الشمس والكواكب الغازية الأخرى.

جـ- حجمها صغير نسبيا قياسا بالكواكب الخارجية.

د- نسبة غازي الهيدروجين والميثان قليلة في غلافها الجوي، بينما تزداد نسبتهما، أو يعتبران غازين أساسيين يكونان أغلفة الكواكب الخارجية.

هـ- وبسبب صغر حجمها وقربها من الشمس فإن عدد الأقمار التابعة لها قليلة أو حتى معدومة.

2- الكواكب الغازية

ويمثلها مجموعة الكواكب الباقية من المجموعة الشمسية، ويطلق عليها اسم كواكب المشتري لأنها تشبه في تركيبها كوكب المشتري. وتتميز بعدد من المميزات هي، كما يلي:

أ- تتركب من غاز الهيدروجين بنسبة عالية.

ب- كثافة مادتها قليلة.

جـ- تتمتع بحجوم كبيرة جدا بالمقارنة بالكواكب الصخرية.

د- تدور حولها أعداد كبيرة من الأقمار، ويعود سبب ذلك إلى كبر الكواكب وبعدها عن الشمس.

ويصعب رؤية السطوح الخارجية لهذه الكواكب بسبب وجود أغلفة جوية كثيفة حولها، ولهذا السبب تخلو سطوحا من وجود فوهات ارتطام النيازك بها، أما بعض أقمار زحل والمشتري فتوجد بها مثل هذه الفوهات رغما أن سطوحها تتكون من مواد متجمدة وليست من مواد صخرية.

- **حلقات الكواكب الغازية**

ينسب إلى العالم الإيطالي غاليليو أول مشاهدة للحلقات حول كوكب زحل، أما الحلقات حول كوكبي المشتري وأورانوس، فقد اكتشفت حديثا لأنها غير واضحة

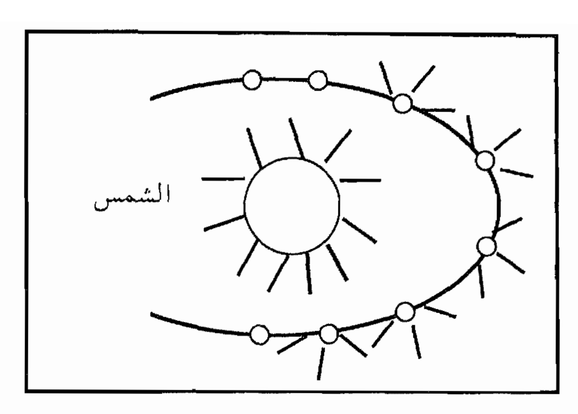
وضوح الحلقات حول زحل. ويؤكد العلماء أن هذه الحلقات مكونة من مواد صلبة وهي ليست غازية، وهي عبارة عن جسيمات صغيرة جدا تدور حول هذه الكواكب ومن خصائصها أنها تعكس أشعة الضوء الأبيض المرئي بصورة جيدة، ولكنها رديئة في قدرتها على عكس الأشعة تحت الحمراء.

- **درجة حرارة سطوح الكواكب**

نعلم أن الشمس هي مصدر الطاقة الرئيسي لهذه الكواكب التسعة، ويبدو لنا واضحا أن سطوح الكواكب الداخلية ذات درجات حرارة أعلى من تلك الخارجية، ويعود سبب ذلك إلى قربها من الشمس، ولقد توصلت الدراسات إلى أن درجات حرارة سطح الكواكب الخارجية تصل إلى مادون الصفر المئوي بكثير، وهناك عامل آخر يلعب دورا في درجات الحرارة هو الغلاف الجوي المحيط بالكوكب، وتوافر غاز ثاني أكسيد الكربون به الذي يعتبر خازن للطاقة، فعلى سبيل المثال، يعتبر الكوكب عطارد من الكواكب القريبة من الشمس ورغما من عدم وجود غلاف جوي له، فإن درجة حرارة سطحه عالية جدا، ويليه كوكب الزهرة، من حيث درجة الحرارة رغما من بعده عن الشمس، لكن وجود غاز ثاني أكسيد الكربون في غلافه الجوي يساعد في ذلك.

3- المذنبات:

إن المذنبات هي أجرام سماوية من مكونات المجموعة الشمسية وتتكون من رأس، وذيل، ويتكون الرأس من مواد صخرية ومعدنية صلبة مثل: الحديد، والمغنيسيوم، والنيكل مكسوة ببلورات ثلجية مكونة من الماء والأمونيا والميثان وبخار الماء، وحينما تقترب المذنبات من الشمس تتبخر بعض محتوياتها القابلة للتبخر مثل: الميثان، والأمونيا، ويكون هذا البخار ذيلا من الغاز المضيء نتيجة لانعكاس أشعة الشمس عنه، وقد يصل طول هذا الذيل آلاف الكيلو مترات ويسير دائما باتجاه معاكس لوجود الشمس، أنظر الشكل (2-7). ومن أشهر المذنبات: هالي، وإنكه، وموريس.



الشكل (2-7) : مسار المذنبات

4- النيازك والشهب:

وبالنسبة للشهب والنيازك، فيعتقد العلماء أنها أجسام صخرية أو فلزية متباينة الحجم والشكل، وأصلها من المجموعة الشمسية، وبعضها يصل إلينا من خارج المجموعة الشمسية، ويتفاوت حجمها بين حبيبات الغبار وحجم الكويكبات أي تصل كتلتها إلى عدة ملايين من الأطنان، وقد دلت الدراسات على أنها تحتوي على مواد مشعة ومواد عضوية، وغالبا ما يؤدي سقوط النيازك الكبيرة إلى حدوث كوارث طبيعية على الأرض، مثل: حرق الغابات والمنازل، وتكوين حفر أو فوهات ارتطام مميزة عند اصطدامها بالأرض. وأما الشهب فهي أجرام سماوية تتكون من كتل صغيرة من المادة الصلبة تسبح في الفضاء، وأصل معظمها من داخل المجموعة الشمسية تحترق كليا بلهب ساطع حين دخولها الغلاف الجوي. ويقسم العلماء النيازك إلى أربعة أصناف حسب تركيبها، ويعتقدون بأهميتها في التوصل إلى نظريات حول أصل الكون والمجموعة الشمسية. وأما أصناف النيازك الأربعة فهي الآتية:

1- نيازك الكوندريت: وتتكون من حبيبات صغيرة وكروية الشكل، وتختلف نيازك الكوندريت عن بعضها بالحجم، وتتكون هذه النيازك من مواد عضوية تكونت خارج المجموعة الشمسية، وأصلها من مادة سحابة السديم الأول المكون للمجموعة الشمسية، ويعتقد بأن لهذا النوع من النيازك والشمس التركيب نفسه، أي أن لهما أصلا واحدا.

2- نيازك اللاكندريت (النيازك الحجرية): وتتكون من معادن شبيهة بالمعادن التي يتكون منها صخر البرويدويت، وهذا الأخير نوع من الصخور تتكون منه طبقة

الستار، إحدى الطبقات الداخلية للأرض، مع اختلاف بسيط بين تركيبهما، ويعتقد أن أصلها يعود إلى تفتت كويكبات أثناء اصطدامها بعضها ببعض.

3- النيازك الحجرية الحديدية: وتتكون من كميات كبيرة من النيكل والحديد مع معادن سليكاتية قاعدية.

4- النيازك الحديدية: وتتكون من الحديد والنيكل، وغالبا تنتج من مادة الكوندريت في النيازك الكوندريتية.

5- الكويكبات

وهي عبارة عن كتل صخرية مختلفة الحجوم، وقد يصل عددها إلى (50,000) كويكب، وتوجد في حزام الكويكبات بين كوكبي المريخ والمشتري، وتدور حول الشمس إسوة بباقي الكواكب، ومن أمثلتها: سيريس، وفستا، وجونو، وإبروس، وأما تركيبها فهو من مادة صخرية مكونة من سليكات بعض العناصر، ويعتقد بأن أصلها هو من كوكب إنفجر بعد فترة من تكونه. وإذا خرجت بعض الكويكبات من مدارها واقتربت من كوكب آخر، فإنها تنجذب إليها، وترتطم بسطحه مكونة فوهة ارتطام يتناسب قطرها مع حجم الكويكب، ويسمى عندها بالنيزك.

وتفيد دراسة الكويكبات الباحثين الفلكيين في أمرين وهما:

أ- تشكل الكويكبات أجساما غاية في القدم، فقد يعود تأريخها إلى بداية تكون السديم الأولي الذي نشأت فيه المجموعة الشمسية.

ب- يساعد في تقدير عمر عناصر المجموعة الشمسية والذي يعود إلى حوالي (4.6) بليون عام تقريبا.

3-2 ما أصل المجموعة الشمسية؟ وكيف نشأت؟

لقد وضعت نظريات متعددة لتفسير أصل المجموعة الشمسية ونشأتها، وبعض هذه النظريات معقد، وتدعمه الأدلة والبراهين العلمية والرياضية، وسنتناول هنا دراسة بعض النظريات التي تفسر نشأة المجموعة الشمسية، وعلى نحو مبسط، وكما أن تقديم الحجج والبراهين العلمية التي تقف إلى جانب هذه النظريات أو ضدها هو خارج نطاق هذا الكتاب.

1- نظرية بوفون

تنص نظرية بوفون على ما يلي: اقترب مذنب ضخم من الشمس وارتطم بها، وأدى ذلك إلى تفتت أجزاء من الشمس على هيئة غازات، ثم بردت هذه الأجزاء أثناء دورانها حول الشمس، ولما بردت كونت الكواكب والتوابع التي نعرفها عن المجموعة الشمسية، وبقيت في وضعها الحالي بفعل جاذبية الشمس، إن هذه النظرية لم تلق الدعم والتأييد من المجتمع العلمي.

2- نظرية تشامبرلن وومولتن (1900م):

تستبدل هذه النظرية المذنب الكبير الذي ورد ذكره في نظرية بوفون بنجم كبير، اقترب هذا النجم من الشمس، ونتج عن ذلك إنفصال غازات عنها نتيجة لقوى الجذب من هذا النجم الكبير للشمس، ثم دارت هذه الكتل الغازية في مدارات حول الشمس وبردت فتكون منها كواكب المجموعة الشمسية وتوابعها.

3- نظرية رسل

كان هناك سحابة سديمية غازية انشطرت إلى قسمين غير متكافئين، فتكون منها الشمس وتوأم لها، ولأن أحدهما أكثر كثافة من الآخر، فإن التوأم الأكثر كثافة من الشمس إنفجر وتحولت منه قطع على شكل كواكب وتوابع جذبها إليه النجم الأخف، الشمس، ثم نزلت هذه القطع في مدارات في الفضاء وبردت لتكون أجرام المجموعة الشمسية.

4- نظرية سحابة السديم

وتنص هذه النظرية على ما يلي:

أ- تكونت في البدء الشمس وكواكبها من سحابة سديمية غبارية درجة حرارتها منخفضة، ودارت هذه السحابة حول محورها المركزي بسرعة قليلة.

ب- بفعل قوى الجذب المركزية بدأت هذه السحابة بالتقلص، وقد أدى هذا إلى ارتفاع درجة حرارة السديم.

جـ- زادت سرعة السحابة، ورافق ذلك عدد من التغيرات فيها، ومنها:

1- تفلطحت السحابة ثم تحولت إلى شكل قرص.

2- تكسرت أطراف السحابة الخارجية مكونة الكواكب كنتيجة لضعف قوة الجذب إلى مركز السحابة، وبقي الجزء المركزي وتكونت منه الشمس.

5- النظرية الحديثة

يجمع معظم العلماء على أن الكون الذي نعرفه الآن عبارة عن بقايا كرة هائلة من النار تولدت قبل حوالي عشرين بليون عام إثر انفجار ذري ثم تناثرت شظاياها مولدة أجراما فضائية تدور في حلقة تتسع وتبتعد عن مركز الإنفجار لتكون الأجرام السماوية المعروفة بعد وصولها إلى درجة البرودة المناسبة.

يعود تأريخ الكون إلى 20 بليون عام، وتأريخ الشمس إلى 2-16 بليون عام، وتأريخ الأرض إلى 4.6 بليون عام، وأما تأريخ المياه على الأرض فيعود إلى 2 بليون عام.

2-4 كيف نشأت الأرض؟

تنص إحدى النظريات العلمية على أن نشأة الأرض منذ بدء تكونها، وحتى بردت وتصلبت يمكن وصفه بالمراحل التالية:

1- انفصلت الأرض على هيئة حلقة من السديم، وتجمعت فيها دقائق الغبار والغازات مكونة كتلة صلبة، ولا يوجد حولها غلاف غازي.

2- ارتفعت درجة حرارة الحلقة السديمية مما أدى إلى انفصالها، وإعادة ترتيب مكوناتها حسب الكثافة النوعية للمواد، فالأكثر كثافة إلى الداخل، والأخف إلى الخارج، وقد برز من هذا المكون الخفيف غازات وأبخرة أحاطت بكوكب الأرض مكونة غلافا غازيا وفيه بخار الماء.

3- بردت الأرض وتكاثفت أبخرة الماء على هيئة أمطار ثم سقطت على سطحها. وفيما بعد ذلك، برزت الأرض على هيئة جزر بركانية متباعدة، ثم تقاربت بفعل عوامل الحت والتعرية، واستمرت بعد ذلك عمليات البركنة، وتمايزت القشرة الأرضية بحيث ظهرت مادة غنية بالسيليكا في الخارج، وأما المادة الأثقل فقد ظهرت في الداخل، وقد نشأ نوعان من الصخور وهما:

أ- الصخور الحمضية الغنية بالسيليكا (سليكات حمضية وتعرف بسيليكات الألمنيوم أو سيال) وتكون منها صخور الجرانيت.

ب- الصخور القاعدية الغنية بالماغنيسيوم والحديد (سيليكات قاعدية وهي سيما أو سيليكات الماغنيسيوم) وتكون منها فيما بعد صخور البازلت.

ثم تأثرت الأرض بعد ذلك، بقوى عديدة دفعت إلى تمزقها، ونتج عن ذلك القارات والمحيطات والجبال والتضاريس المختلفة، وتهيأت بذلك لاستقبال الحياة في الماء واليابس على سطحها.

2-5 ما شكل الأرض؟ وما قياساتها؟

يشبه شكل الأرض مجسما كرويا غير مكتمل تقريبا، وهي مفلطحة عند القطبين، وكما يبلغ نصف قطر الدائرة التي تمر بخط الاستواء (6378)كم، ويبلغ نصف قطر الدائرة التي بالقطبين (6357)كم (أي بفارق قدره 21 كم)، وبذلك يبلغ محيطها عند خط الاستواء (40079)كم.

ويتشكل سطح الأرض من يابسة وبحار ومحيطات، وتبلغ نسبة اليابسة (29٪) من مساحة السطح، ونسبة البحار (71٪) منه، وتبلغ المسافة بين أعلى نقطة فيها (قمة إفرست ترتفع 8,848م) وأعمق نقطة معروفة في قاع المحيط (قرب جزيرة الفليبين وتنخفض بمقداره 11,33م) هي (20) كم، ويبلغ معدل كثافة الأرض (5.5)غم/سم3، وتبعد الشمس عن الأرض (148.808) مليون كم.

وتتحرك الأرض عدة حركات في نفس الوقت، وهذه الحركات هي كما يلي:

1- حركة تدور فيها الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق وبسرعة (1660)كم/ساعة، أما عند القطبين فسرعتها صفرا، وتتم كل دورة في يوم واحد ويتوقف عليها تعاقب الليل والنهار. وهذه الدورة للأرض تؤثر في حركة الرياح والمد والجزر. وقد أخذت فترة دوران الأرض حول محورها كمقياس للوقت، وينتج عنها ما يعرف باليوم الشمسي (الليل والنهار).
2- دوران الأرض حول الشمس، تدور الأرض بمدار إهليجي حول اشمس بسرعة معدلها (30) كم ثانية وتكمل دورتها بفترة تقريبية هي (365.25) يوما، وتعرف هذه الدورة بالسنة الأرضية الشمسية، وقد أخذت كأساس آخر لقياس الزمن، وينتج عن دوران الأرض حول الشمس ظاهرة الفصول الأربعة.
3- تتحرك المجموعة الشمسية ومن ضمنها الأرض حول نجم فيما بسرعة تبلغ (20)كم/ ثانية.
4- تتحرك مجرة درب التبانة حول محور خاص بها عبر الكون.

- **القمر**

يعتبر تابع الأرض، القمر، من التوابع الفريدة من نوعها في المجموعة الشمسية، ونظرا لكبر حجمه يسمى الكوكب الأرضي الصغير ويوصف ازدواج الأرض والقمر معا بالكوكب المزدوج، وعلى الرغم من أن بعض أقمار زحل والمشتري أكبر منه حجما إلا أنها تعتبر صغيرة جدا قياسا على الكوكبين التابعين لهما، انظر الشكل (2-8)، ويبلغ قط القمر (3476) كيلو مترا، ويدور بمدار حول الأرض معدل بعله عنها (400.000) كيلو مترا، وهو يدور حول محوره دورة كل (27.3) يوم، وهي نفس الفترة التي تستغرقه لعمل دورة حول الأرض، وتبعا لذلك فإن نفس وجه القمر يبقى مواجها للأرض في كل الأوقات، ولكنه يظهر ارتعاشا بحيث أن (59٪) من سطحه يكون معرضا للأرض بين الحين والآخر. ومن التأثيرات التي يؤثر بها القمر على الأرض هي مساهمته في توليد ظاهرة المد والجزر لماء المحيطات والبحار الكبيرة.

وأما نشأته، فهي غير معروفة على وجه التحديد، فمن المعتقد أنه قد نشأ في مكانه الحالي عند إنشطار سحابة السديم التي تكونت منها المجموعة الشمسية، ثم بقي حول الأرض واتخذ له مدارا يدور فيه حولها، نتيجة الجاذبية التي تؤثر بها الأرض عليه، ويعتقد البعض أنه قد تجمع مثل كوكب منفصل له مداره الخاص حول الشمس، ولكنه نتيجة اقترابه من الأرض إنجذب إليها وبدأ يدور حولها، وأما تركيبه فيشبه تركيب الكواكب الصلبة الأخرى، وتفيد الدراسات المباشرة التي قام بها رجال الفضاء على سطح القمر بما يلي:

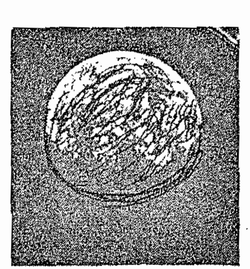
أ- تسجل أجهزة الرصد الزلزالي وجود هزات قمرية على سطحه بمعدل 400 هزة كل عام، وبعضها قد سجل في بؤرات زلزالية عميقة داخل جسم القمر تصل إلى (800) كيلو مترا.

وتؤكد هذه الظاهرة أن القمر كالأرض صلب ودرجة الحرارة في أعماقه أقل منها داخل الأرض.

ب- المغناطيسية، يفتقر القمر إلى وجود مجال مغناطيسي حوله، إلا أنه يعتقد بوجوده منذ زمن بعيد، حينما تصلبت الصخور النارية من الماجما (الصهير الصخري)،

وقد يعزى إلى هذه الصخور سبب وجود المجال المغناطيسي القديم لـه، وعموما فإن معدل كثافة مادة القمر هي (3.35) غم/سم3.

جـ- الإشعاع الحراري: تمكن علماء الفضاء خلال زيارتهم للقمر من إجراء قياسات مباشرة لكمية الحرارة التي تصدر من باطنه، ووجد أنه عال نسبيا حيث يقدر بنصف قيمة إشعاع الأرض، ويدل هذا القياس لإشعاع القمر الحراري أن قشرة القمر بها تركيز عال من المواد المشعة التي تبعث كمية من الطاقة الحرارية أثناء تفاعلاتها النووية الإنحلالية.





الشكل (2-8): القمر والأرض

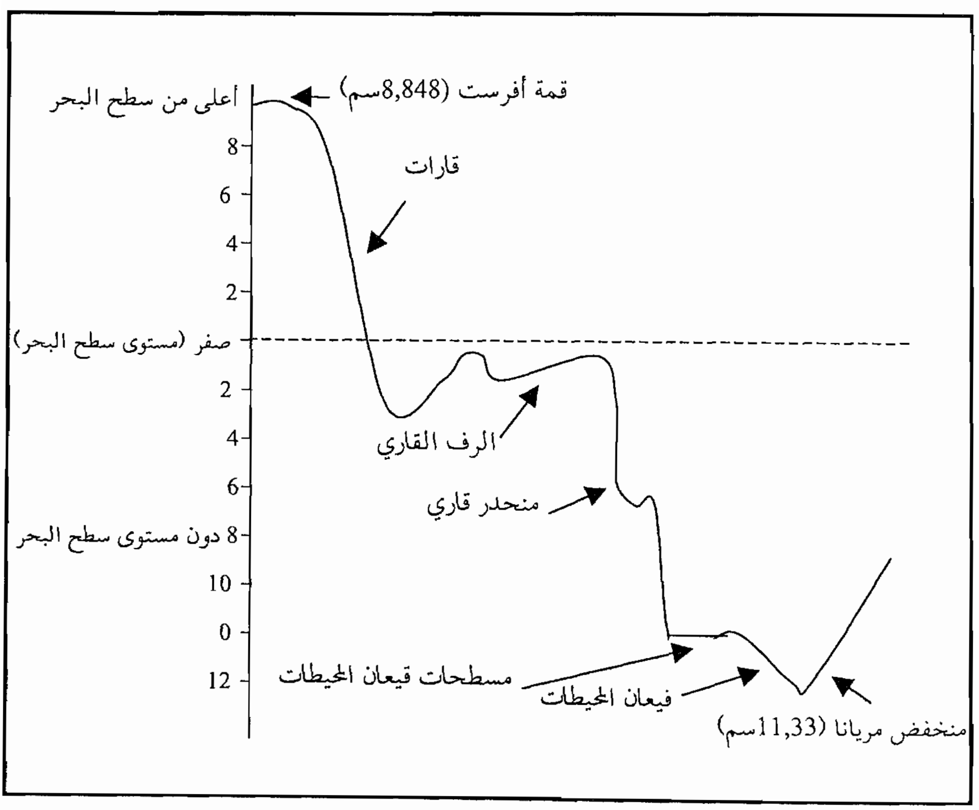
6-2 ما أغلفة الأرض؟ وما تركيب كل غلاف منها؟

علمت أن الأرض أثناء مراحل تكونها قد تعرضت الي عمليات أدت إلى فصل محتويات المادة الأساسية المكونة لها إلى عدة طبقات، تختلف في تركيبها الكيميائي وصفاتها الفيزيائية. وقد تبين نتيجة المشاهدات العلمية أن الأرض مكونة من عدة أغلفة، بعض هذه الأغلفة غازي، وبعضها سائل، والغلاف الآخر فهو صلب، وسندرس هذه الأغلفة بجانب من التفصيل، وسنتناول بالدراسة أيضا غلافا آخر معها هو الغلاف الحيوي.

1- الغلاف الصخري

وهو الجزء الصلب من الأرض ويشمل القشرة الأرضية وجزء من باطن الأرض أسفل هذه القشرة الأرضية. ويلاحظ أن هناك فرقا بين الجزء الخارجي الرقيق نسبيا بين الأرض. والذي يطلق عليه اسم القشرة وباطنها (سندرس ذلك في موضوع طبقات الأرض).

ويتشكل الغلاف الصخري للأرض من سطح مستو تتخلله الارتفاعات الواسعة وتسمى القارات، وتوجد فيه انخفاضات هي قيعان البحار (المحيطات)، وفي وسط القارات يوجد كتلة من الصخور النارية والمتحولة وتعرف بـ (الدروع)، (يعود تأريخها إلى عصور ما قبل الكامبري)، وتنحدر حافات القارات بشكل تدريجي في معظم الحالات نحو قيعان المحيطات، ويطلق على ذلك الجزء من القارات القريب من اليابسة اسم الرصيف (الرف) القاري. وهناك جزء أكثر إنحدارا من الرصيف القاري وهو الميل (المنحدر) القاري الذي ينتهي بقيعان المحيطات والبحار. أنظر الشكل (2-8) الذي يمثل مناطق الغلاف الصخري.



الشكل (2-9) منحنى الارتفاعات للقشرة الأرضية

قد أكدت الدلائل على أن طبقة الصخور التي توجد تحت التضاريس الظاهرة للقشرة الأرضية هي متجانسة ومتماثلة بالتركيب، لكن كلما تعمقنا في داخل الأرض تختلف نوعية الصخور. إلا أنه وفي الوقت نفسه يلاحظ أن هذه الصخور منتظمة يمكن تمثيلها بالأحزمة أو الطبقات الموحدة المركز، وتختلف كل طبقة عن غيرها في التركيب والكثافة والمرونة.

وعند فحص صخور القشرة الأرضية يتبين أن معظم هذه الصخور (حوالي 50٪) أكسجينا مشكلا مركبات كيميائية ومعادن، والجدول (2-2) يبين التركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضية.

الجدول (2-2): التركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضية

العنصر	النسبة المئوية الوزنية
الأوكسجين	٪ 46.71
السيليكون	٪27.69
الألمنيوم	٪8.7
الحديد	٪5.05
الكالسيوم	٪3.65
الصوديوم	٪2.75
البوتاسيوم	٪2.58
المغنيسيوم	٪2.08
الهيدروجين	٪0.14
التيتانيوم	٪0.12
الفسفور	٪0.12

2- الغلاف المائي

ويشمل هذا الغلاف كميات الماء التي تغطي سطح الكرة الأرضية، وتبلغ مساحتها حوالي (71٪) من مساحة الأرض. وتقع معظم هذه الكميات من الماء في قيعان البحار والمحيطات، وجزء منها يكون الأنهار والبحيرات، وجزء آخر منها يملأ

المساحات بين الصخور، وجزء آخر أيضا من الماء يتوطن تحت السطح ويعرف بالمياه الجوفية، وهي قليلة نسبيا وذات أهمية كبرى للإنسان. ويعتبر الغلاف المائي عملية هامة من العمليات الجيولوجية مثل عمليات التعرية (الحت) والترسيب، فيعمل على تغيير سطح الأرض وبنائها، وكما يعمل على تفتيت الصخور الأرضية، وحمل الفتات بواسطة الأنهار إلى المحيطات والبحار، حيث تعمل على ترسيب الفتات لتكون الصخور الرسوبية المتنوعة التي تضم في ثناياها المستحاثات (الأحافير) والمعادن المختلفة.

وعند تحليل عينة من ماء المحيط يلاحظ أنها تحتوي على أملاح معظمها ملح كلوريد الصوديوم، ويبين الجدول (2-3) الأملاح الذائبة في مياه المحيط ونسبتها المئوية.

الجدول (2-3): الأملاح الذائبة في مياه المحيطات ونسبتها المئوية

اسم الملح	النسبة المئوية
كلوريد الصوديوم	%77.7
كلوريد المغنيسيوم	%10.8
كلوريد المغنيسيوم وكبريتات الكالسيوم وكبريتات البوتاسيوم	%10.8
كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم	%0.2
بروميد المغنيسيوم	%0.2
أملاح أخرى	%0.2

ويوجد إضافة إلى هذه الأملاح، بعض الغازات ذائبة في الماء مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

سؤال: يعتبر الغلاف المائي شاهدا من الشواهد التي تؤيد نظرية نشأة وتكون الأرض، وضح ذلك؟

3- الغلاف الحيوي

ويحتل منطقة في كل من الغلاف اليابس (الصلب) والمائي والغازي، ويعيش فيه الكائنات الحية، ويوجد من هذه الكائنات الحية أعداد ضخمة تغطي مساحات

واسعة على سطح اليابسة مثل الغابات والمراعي والأعشاب. وأما في داخل الماء فتوجد الأعشاب البحرية والأحياء المجهرية. وفي الغلاف الهوائي تعيش الكائنات الحية الحيوانية والنباتية والإنسان، وجميعها تتكيف مع البيئة الهوائية. وتكمن أهمية الغلاف الحيوي بالتفاعلات البيولوجية التي تحدث فيه، وأيضا تأثير الكائنات الحية على صخور القشرة الأرضية.

4- الغلاف الجوي (الغازي)

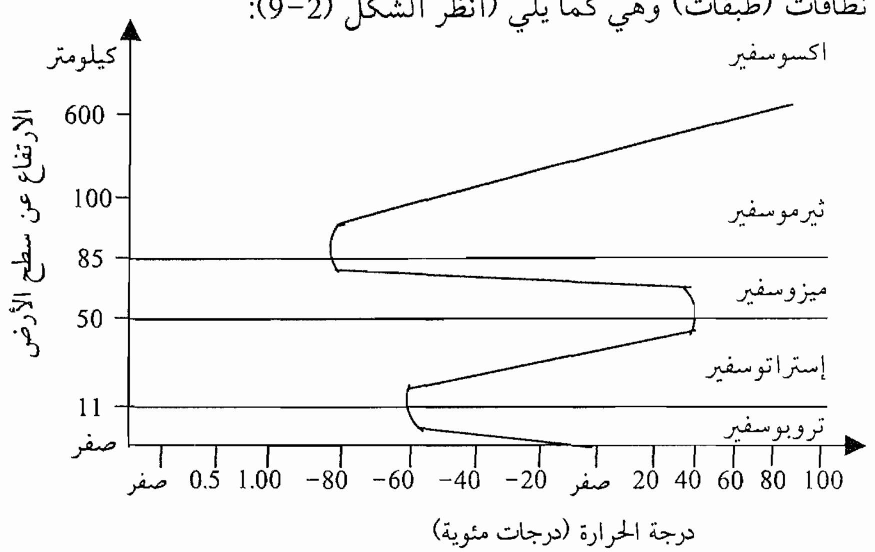
وهو المنطقة الموجودة حول الكرة الأرضية وتحتوي على خليط من الغازات، وتحتفظ الأرض بهذا الغلاف بفعل قوى الجاذبية الأرضية التي تجذبه وتبقيه حولها. ويبين الجدول (2-4) المكونات الرئيسية للغلاف الجوي.

الجدول (2-4): مكونات الهواء الرئيسية ونسبتها الحجمية

اسم المكون	النسبة المئوية الحجمية
نيتروجين	%78
أكسجين	%21
أرجون	%0.93
ثاني أكسيد الكربون	%0.0318

وهناك غازات أخرى في الغلاف الجوي ومنها: الهيليوم، والنيون، والكربون، والزنون، والأمونيا، والهيدروجين، والميثان، وأكسيد النيتروز، وبخار الماء، وأكسيد الكبريت. وكما يوجد نطاق من غاز الأوزون (O_3) وهو غاز غير ثابت تكون نتيجة تفاعل غاز الأكسجين (O_2) مع أشعة الشمس فوق البنفسجية، وفائدة غاز الأزون أنه يمثل نطاقا عازلا للأشعة فوق البنفسجية يمنعها من السقوط على سطح الأرض، وهذه الأشعة معروف عنها أنها تدمر الحياة الموجودة على سطح الأرض.

ويمتد الغلاف الجوي لمسافة (1500) كيلو مترا من سطح البحـــر، ويقســم إلى عدة نطاقات (طبقات) وهي كما يلي (أنظر الشكل (2-9):



الشكل (2-9) : رسم بياني يبين تغير الحرارة في النطق المختلفة للغلاف الجوي مع إرتفاع النطاق عن سطح الأرض

1- نطاق (طبقة) التروبوسفير (الغلاف المناخي)

ويمتد هذا النطاق من سطح الأرض إلى ارتفاع (11) كيلو مــترا، وتـهب فيـه الرياح وتتساقط الأمطار، وتغلب عليه وجود السحب، وتنخفض فيه درجــة الحـرارة بمعدل (6.5) درجة مئوية كل (1) كيلو متر ارتفاع.

2- نطاق الستراتوسفير (الغلاف الطبقي)

يمتد من (11-50) كيلو مترا، وتسود فيه العواصــف والسـحب الأرجوانيـة، وترتفع فيه درجة الحرارة لوجود غــاز الأوزون (يوجـد علـى ارتفـاع بـين (30-45) كيلو مترا عن سطح الأرض)، كما نعلم، يمتــص الأوزون الأشـعة فـوق البنفسـجية القاتلة للحياة.

3- نطاق الميزوسفير (الغلاف المتوسط)

ويمتد بين (50-80) كيلو مترا، وتنخفض فيه درجة الحرارة إلى (-60) درجــة مئوية، وتحترق فيه الشهب والنيازك القادمة من الفضاء الخارجي.

4- نطاق الثيرموسفير (الغلاف الحراري)

ويمثل الجزء العلوي من الغلاف الجـوي، ويمتـد بـين (85-600) كيلـو مـترا، وترتفع فيه درجة الحرارة بين (1000^{0}-1500) مئوية، ويحـدث هنـا تغـير جـذري في صفات الغلاف الجوي فتزداد نسبة الأيونـات (جزيئـات الغـاز المشـحونة كـهربائيا) ويفيد هذا النطاق في أنه طبقة تعمل على عكس أمواج الراديو.

5- نطاق الأكسوسفير (الغلاف الخارجي)

وهو النطاق الخارجي للغلاف الجوي، وفيه يتضاءل الهواء تدريجيا حتـى يصـل إلى الفضاء الخارجي الخالي من الغازات ويستمر هذا النطاق إلى مسافات بعيدة جـدا في الفضاء الخارجي.

2-7 دراسة التركيب الداخلي للأرض (الطبقات الداخلية)

حاول الجيولوجيون رسـم نمـوذج يوضـح الـتركيب الداخلـي لـلأرض يتفـق والمعلومـات المتوافـرة لديـهم، ومـع أن هـذه المعلومـات تـتزايد باسـتمرار نتيجـة للدراسات الجيوفيزيائية الواسـعة، ونتيجـة لمشـاريع الحفـر في قـاع المحيطـات، إلا أن التركيب الداخلي للأرض مـا زال محـدودا، ومـا هـو معـروف عـن هـذا الـتركيب الداخلي يتركز حول وجود طبقـات مـن الصخـور المختلفـة بخصائصـها في أعمـاق الأرض. ولقد حاول علماء الأرض بذل الكثـير مـن الجـهد للوقـوف علـى حقيقـة التركيب الداخلي لها. ومن بعض الأدلة العلمية والجهود التي بذلت في هذا المضمار ما يلي:

1- أعمال الحفر العميق لسطح القشرة الأرضية، والذي لم يتجاوز (12) كيلو مـترا، وبالحقيقة إن هذا العمق غير كاف لاكتشاف طبقات الأرض الداخلية.

2- دراسة نواتج البراكين وآثارها وما تحمله معها، قد أوصل العلماء إلى فهم طبيعة الطبقات في أعماق القشرة الأرضية.

3- درجات الحرارة في أعماق الأرض: تبين أنه كلما نزلنـا في أعمـاق الأرض تـزداد درجة الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة لكل مئة متر هبوطا تحت سـطح القشـرة،

وقد تصل درجة الحرارة إلى (6000) مئوية في مركز الأرض، وهذا يؤكد أن باطن الأرض ليس متجانسا وإنما هو طبقات متباينة.

4- شكل الأرض: يدل حجم الانتفاخ في منطقة خط الاستواء والناتج من دوران الأرض، أن الطبقة الداخلية للأرض ذات كثافة عالية جدا، وأن تغير كثافة الأرض من سطحها حتى باطنها ليس تدريجيا، وما يؤكد هذه الحقيقة، أيضا، أن باطن الأرض يتكون من طبقات متعددة غير متجانسة.

5- الدراسات الخاصة بالموجات الزلزالية الأرضية: وهي من التقنيات المتقدمة التي ساعدت في الكشف عن مكونات باطن الأرض. وفي هذا الميدان قام الجيوفيزيائيون بتحليل الموجات الزلزالية وتوصلوا إلى معرفة الطبقات الداخلية في باطن الأرض التي تصدر عنها، والتي قد تصل أحيانا إلى عمق (700) كيلومترا داخلها. وتشبه الموجات الزلزالية الأرضية الموجات الصوتية في سلوكها، فهي معرضة لتغيير سرعتها واتجاه حركاتها، فتنحني وتنكسر اذا انتقلت بين مواد أو طبقات تختلف في كثافتها. وأفادت نتائج دراسات الموجات الزلزالية بأن الأرض ذات طبقات متباينة وليست طبقة واحدة، وقد ساعد هذا على وضع نموذج حديث يوضح توزيع الطبقات الداخلية للأرض. وسنقوم بدراسة هذه الموجات الزلزالية بالتفصيل.

♦ أنواع الموجات الزلزالية

يرافق انتشار الطاقة الزلزالية أثناء حدوث الزلزال ثلاثة أنواع من الموجات الزلزالية، وهي كما يلي:

1- الموجات الزلزالية الأولية (أو الطولية أو الابتدائية)

وهذه الموجات تشبه الموجات الصوتية، وتنتشر على شكل تضاغطات وتخلخلات متعاقبة مسببة بذلك اهتزاز جزيئات الوسط الذي تنتشر فيه باتجاه خط انتشارها، ويرمز لها عادة بالحرف P ، ومن أهم خصائصها ما يلي:

أ- تنتشر في جميع الأوساط، الغازية، والسائلة، والصلبة.

ب- بها سرعة عالية نسبيا، قياسا على سرعة الموجات الأخرى (المستعرضة والسطحية) ولذلك فإنها تصل أولا إلى محطة رصد الزلزال.

جـ- تختلف سرعتها حسب كثافة الوسط الذي تخترقه وعلى مرونته، فمثلا تبلغ سرعتها في صخور الجرانيت (6) كم/ث، وفي الصخور الرسوبية (3.-4.5) كم/ ث، وأما في الرسوبيات غير المتماسكة فتبلغ سرعتها (0.5) كم/ث.

2- الموجات المستعرضة (الثانوية)

تسبب هذه الموجات اهتزاز جزيئات الوسط الذي تنتشر فيه باتجاه متعامد مع اتجاه إنتشارها، لذا تسمى بالموجات المستعرضة، ويرمز لها بالرمز (S) ومن بعض خصائصها ما يلي:

أ- تنتشر فقط في الأوساط الصلبة، ولذلك فقد كانت سببا في اكتشاف الطبقات الخارجية للقشرة الأرضية.

ب- لا تنتشر في الصخور السائلة أو شبه السائلة.

جـ- تبلغ سرعتها (10/6) سرعة الموجات الأولية، ولذلك فإنها تصل متأخرة إلى محطات رصد الزلزال بعد وصول الموجات الأولية إليها.

3- الموجات السطحية

وهي نوع من الموجات الزلزالية لا تخترق أعماقا كبيرة داخل جسم الأرض، وتبقى محصورة داخل الطبقات السطحية الخارجية من القشرة. وتصل إلى محطات الرصد بعد وصول الموجات الأولية والثانوية. وهذا النوع من الموجات لا يستفاد منها في الدراسات الخاصة باكتشاف الطبقات الداخلية للأرض. ويرمز لها بالحرف (L).

♦ نماذج الطبقات الداخلية للأرض

أولا: نموذج فان بولين

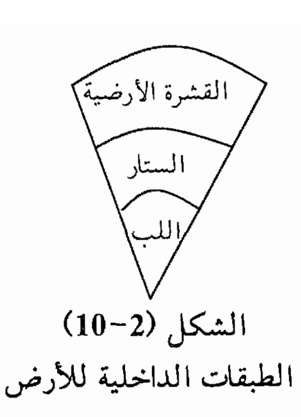
لقد تمكن العالم النيوزلندي فان بولين من الاستدلال إلى أن باطن الأرض ينقسم إلى ثلاثة طبقات رئيسية، وهي كما يلي:

1- القشرة الأرضية.

2- الستار.

3- اللب.

أنظر الشكل (2-10).



الشكل (2-10)
الطبقات الداخلية للأرض

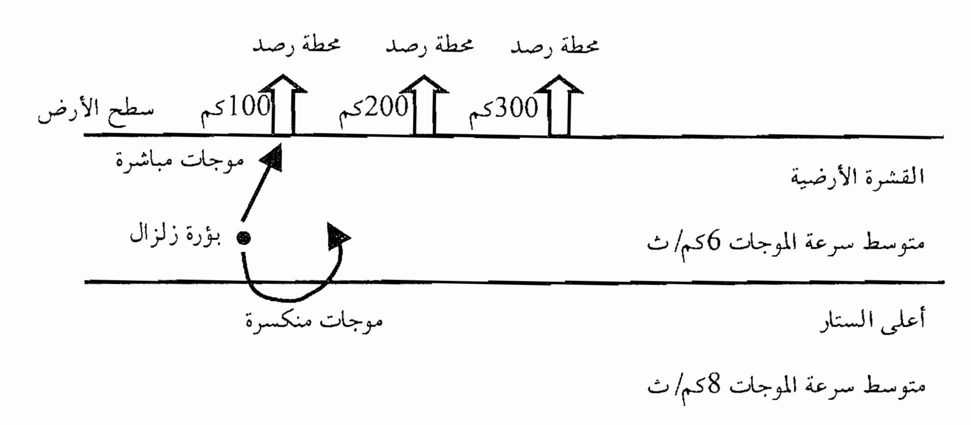
ثم قامت عدة دراسات فيما بعد، استهدفت تحديد الطبقات الداخلية الصلبة للأرض، بمعرفة التغييرات في سرعة الموجات الزلزالية أثناء سيرها في أعماق الأرض، وكان لنتائجها أثر كبير في تطوير نموذج فان بولين، وبناء النموذج الحديث للطبقات الداخلية للأرض.

- **دراسات العالم موهو ريفتشيك**

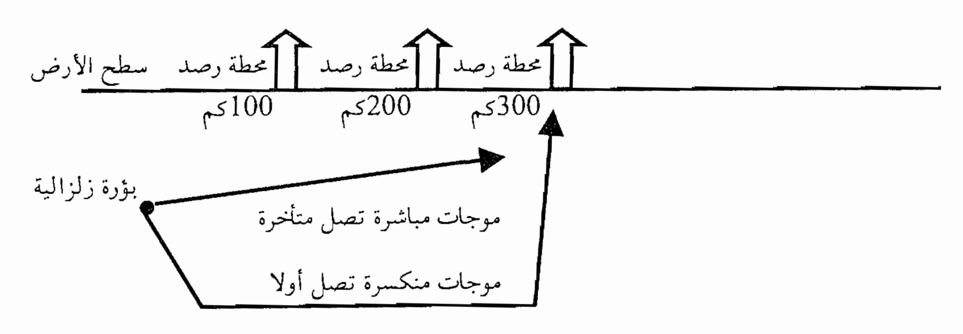
إن أول من اقترح وجود حدود جيوفيزيائية بين القشرة والستار هو العالم اليوغسلافي موهو ريفتشيك في بداية القرن العشرين. وقد لاحظ هذا العالم أثناء تفحص بعض أجهزة الرصد الزلزالي (السيزموغراف) القريبة من بؤرة زلزالية (مركز زلزالي)، أنها قد سجلت موجات أولية وثانوية بطيئة الانتقال، وأما الأجهزة البعيدة عن بؤرة الزلزال، فقد سجلت موجات أولية وثانوية أكثر سرعة، أنظر الشكل (2-11)، وقد لاحظ أن الموجات المباشرة قد وصلت إلى محطات الرصد على بعد (100) كم، قبل الموجات المنكسرة. وأما على بعد (300كم) من بؤرة الزلزال، فقد وصلت الموجات المنكسرة قبل الموجات المباشرة، هذا رغما من أن المسافة التي قطعتها الموجات المنكسرة كانت أطول من المسافة التي قطعتها الموجات المباشرة، فكيف تفسر ذلك؟

لدى مقارنة سرعتي الموجات المباشرة والمنكسرة نستنتج أن الموجات الزلزالية قد مرت في نطاقين، وهما: نطاق يمرر الموجات الزلزالية بسرعة قليلة ونطاق يمرر

بسرعة أكبر، وقد استدل موهو أن هناك نطاق يقع تحت القشرة الأرضية له خصائص طبيعية تزداد عنده سرعة الموجات الزلزالية بصورة مفاجئة.



أ- الموجات المباشرة وصلت قبل الموجات المنكسرة إلى محطة الرصد على بعد **100كم**



ب- الموجات المنكسرة وصلت قبل الموجات المباشرة.(*)

الشكل (2-11) نموذجان لمسيرة الموجات الزلزالية المباشرة والمنكسرة

وقد استدل العالم موهو ريفتشسك بوجود حد فاصل بين القشرة والستار سمي فيما بعد بمنطقة انقطاع موهو (أو لا مستمر موهو)، ويقع على عمق حـوالي (100) كم أسفل القشرة الأرضية، وهو عبارة عن طبقة لدنه من الصخور تؤثر في الموجـات

(*) علوم الأرض والبيئة - الصف الثاني الثانوي.

الزلزالية، فتعمل على إنكسارها وعلى انعكاسها أيضا.

ثم توالت الاكتشافات فيما بعد في المضمار نفسه، فاكتشف انقطاع كونراد، وانقطاع فايخرت (جوتنبرغ)، وانقطاع إنجه. انظر الشكل (2-12). والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو: ماذا يقصد بهذه الانقطاعات؟ تعرف منطقة الانقطاع بأنها: حزام من صخور لدنة مانع لمرور الموجات المستعرضة ويفصل بين طبقات الأرض، ويعكس هذا الحزام الموجات الزلزالية ويعمل على إنكسارها.

وفي ضوء ما سبق، فقد طور نموذج حديث يمثل طبقات الأرض الداخلية، والذي اقترح في ضوء مكتشفات العلماء لمناطق اللامستمرات (الانقطاعات أو الانفصالات) ويبين هذه الطبقات، أنظر الشكل (2-12).

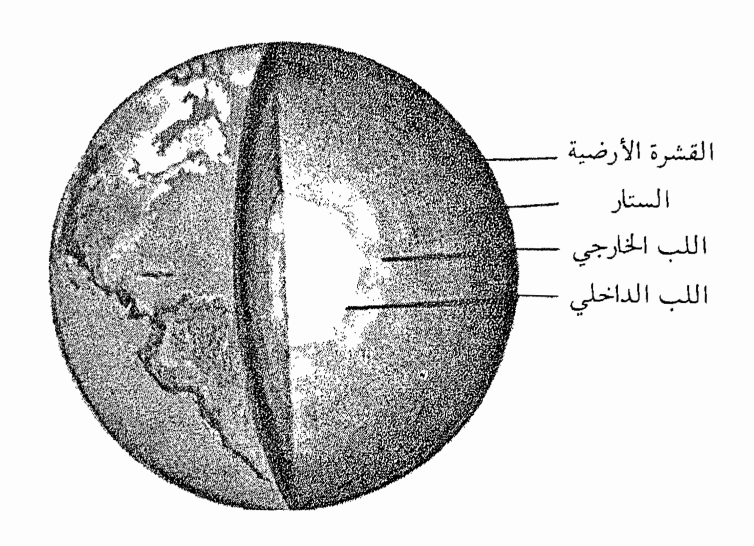
ويمكن تبعا لما سبق أن نستدل على النتيجتين التاليتين:

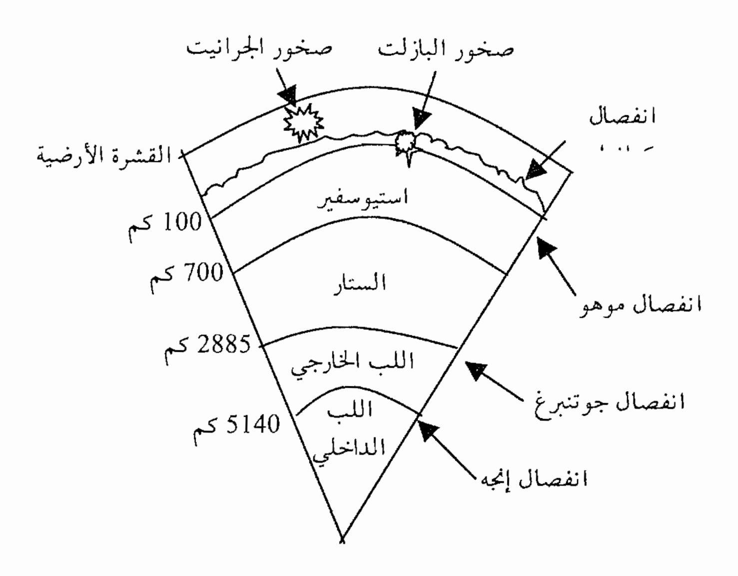
1- تنعكس الموجات الأولية والثانوية أثناء مرورها بالسطوح الفاصلة (الأغلفة اللدنة) التي تفصل بين الطبقات الداخلية للأرض.

2- تتأثر الموجات الأولية والثانوية بشكل ملحوص عند العمق 2885كم من سطح الأرض. ويستدل من ذلك على وجود منطقة انفصال (انقطاع) عند هذا العمق، وقد توصل العلماء فيما بعد إلى وجود منطقة لدنة بين العمق 2885كم و 5140كم من سطح الأرض وسميت منطقة اللب الخارجي.

ثانيا: النموذج الحديث للتركيب الداخلي للأرض

في ضوء الدراسات السابقة تمكن العلماء من تطوير نموذج فان بولين، ويبين الشكل (2-10) النموذج الحديث للتركيب الداخلي للأرض، ويشاهد فيه مناطق الإنفصال وأبعادها على سطح القشرة الأرضية.





الشكل (2-12) : رسم تخطيطي يوضح الطبقات الداخلية للأرض (النموذج الحديث)

1- القشرة الأرضية

هي طبقة تمثل الجزء الخارجي الصلب للأرض، وتتفاوت هذه الطبقة بسمكها حسب طبيعة امتدادها حول الأرض، إذ يبلغ متوسط سمك القشرة الأرضية تحت القارات (35-150)كم، أما تحت المحيطات فيبلغ المتوسط (5) كم. وتشتمل القشرة الأرضية على صخور البازلت، وصخور الجرانيت، والصخور المتحولة، والصخور

الرسوبية بكافة أشكالها. وقد أثبت كونراد، كما أسلفنا، وجود انقطاع في سرعة الموجات الزلزالية عند مرورها في القشرة الأرضية، واستدل من ذلك بوجود اختلاف في التركيب الكيميائي والخصائص الفيزيائية لصخور القشرة الأرضية، وسمي هذا بـ (انفصال كونراد) وتقسم هذه الطبقة إلى طبقتين، وهما:

أ- الطبقة الخارجية

تتكون غالبيتها من صخور الجرانيت (الغنية بسيليكات الألمنيوم، والبوتاسيوم والصوديوم)، ومعدل كثافتها (2.7)غم/سم3، ويطلق على هذه الطبقة اسم (سيال) (Sial). لماذا؟ وتوجد هذه الطبقة عادة في الأجزاء القاسية، ولا توجد في قيعان المحيطات والبحار.

ب- الطبقة الداخلية

تقع أسفل الطبقة الخارجية، وفوق إنفصال موهو مباشرة، وتتكون في غالبيتها من صخور البازلت الغنية بسيليكات الحديد والمغنيسيوم ومعدل كثافتها (3) غم/سم3، وتعرف باسم (سيما) (Sima). لماذا؟ وتمتد هذه الطبقة تحت قيعان المحيطات.

2- طبقة الستار

وتمتد هذه الطبقة بين (100) كم و(2885) كم، وتكون (60٪) من كتلة الأرض، و (84٪) من حجمها، وتتكون من سيليكات الحديد والمغنيسيوم بدرجة رئيسية إضافة إلى الأكسجين والألمنيوم، وتتراوح كثافتها ما بين (5-8) غم/ سم3 .

وتتكون صخور الستار من معدن البريدويت، وهو نفس تركيب النيازك اللاكندريت التي تسقط على الأرض من الكون، ويؤكد هذا أن الأرض والنيازك من أصل واحد في المجموعة الشمسية.

وتبلغ درجة حرارة الستار ما بين (870) مئوية في جزئها العلو، و (2200) مئوية في الجزء السفلي منها.

ويعزى إلى طبقة الستار، مسؤوليتها عن القوى المشكلة للاضطرابات والحركات الأرضية، والبراكين، والتجعدات التي تنشأ عنها الجبال، ويتسبب في حركة الجبال، وتكون المحيطات والأخاديد البحرية.

ويطلق على الجزء من الستار وأسفل القشرة، ومن عمق (100) كم حتى عمق (700) كم اسم الغلاف المائع، إستينوسفير، وكما تبين لك فإن القشرة الأرضية، وسمكها حوالي (100) كم، تقع فوق الغلاف المائع.

سؤال: ماذا تتوقع أن يحدث لسرعة الموجات الزلزالية عندما تخترق الغلاف المائع؟

3- اللب

وتشكل هذه الطبقة الكتلة المركزية للأرض، ويصل سمكها إلى نحو (3453)كم. وتتألف منطقة اللب من معادن الحديد والنيكل، وهو نفس تركيب النيازك الحديدية والتي هي أجرام من المجموعة الشمسية.

وقد تبين من داسة سرعة الموجات الزلزالية الأولية (أ) الصادرة من باطن الأرض، على أن هناك تغيير ملحوظ عند العمق (2885)كم واكتشف هذا الإنفصال العالم الألماني فايخرت جوتنبرغ، وسمي بإنفصال فايخرت، ويفصل بين منطقة الستار واللب.

وفيما بعد، تبين للعلماء على أن للب طبقة غير متجانسة، حيث أن الجزء الأسفل منها صلب، والجزء الأعلى سائل (صهارة معدنية)، ويفصل بينهما منطقة انتقالية، وهذا ما بينته العالمة (إنجه ليهمان) من خلال دراستها للموجات الزلزالية، وأطلق على هذا الجزء اسم (إنفصال إنجه)، وبهذا قسم اللب إلى منطقتين وهما:

أ- اللب الخارجي: وتمتد بين (2885) كم، و (5140) كم، وهي طبقة غنية بعناصر الحديد والنيكل، وتبلغ درجة حرارتها (5000^0) مئوية، وكثافتها تقدر بـ (10)غم/ سم3، وهي منطقة سائلة (صهارية).

ب- اللب الداخلي: ويمتد على عمق بين (5140) كم حتى (6378) كم من سطح الأرض، وتتكون من عناصر فلزية صلبة مثل الحديد والنيكل، وعلى الرغم من ارتفاع درجة حرارتها التي تصل حوالي (6000°) مئوية من جرّاء الضغط الهائل فوقها، إلا أنها تبقى في الحالة الصلبة، وكثافة مادتها تتراوح بين (14.5-18)غم/سم3، ولهذه المنطقة أهمية أثناء دوران الأرض حول محورها، حيث يتولد عنها المجال المغناطيسي الأرضي.

8-2 نظرية الصفائح التكتونية

تسمى هذه النظرية بأسماء متعددة، ومنها، نظرية تكتونية الأرض، ونظرية تكتونية الألواح، ويشير مصطلح (تكتوني) إلى معنى (البناء)، ولذلك فإن مفهوم النظرية يشير إلى حركة الألواح المؤدية لبناء القشرة الأرضية، وقد ظهرت هذه النظرية نتيجة جهود العديد من العلماء خلال فترة الستينات من القرن الماضي.

وينص مضمون هذه النظرية على ما يلي: إن الغلاف الصخري الأرضي الصلب يتألف من صفائح محيطية وقارية سمكها يتراوح بين (100-250)كم، وهذه الصفائح تتحرك بعضها إلى بعض وتأتي أهمية هذه النظرية في اهتماماتها ومجالاتها الأساسية والتي تتركز في دراسة القشرة الأرضية، ويقع ضمن اهتمامات النظرية أيضاً ما يلي:

أ- وصف حركة القارات.

ب- تفسير حركة القارات المحتملة، وتوضيح أسباب هذه الحركة.

جـ- توضيح العلاقة بين حركة القارات مع مظاهر الأرض الرئيسية.

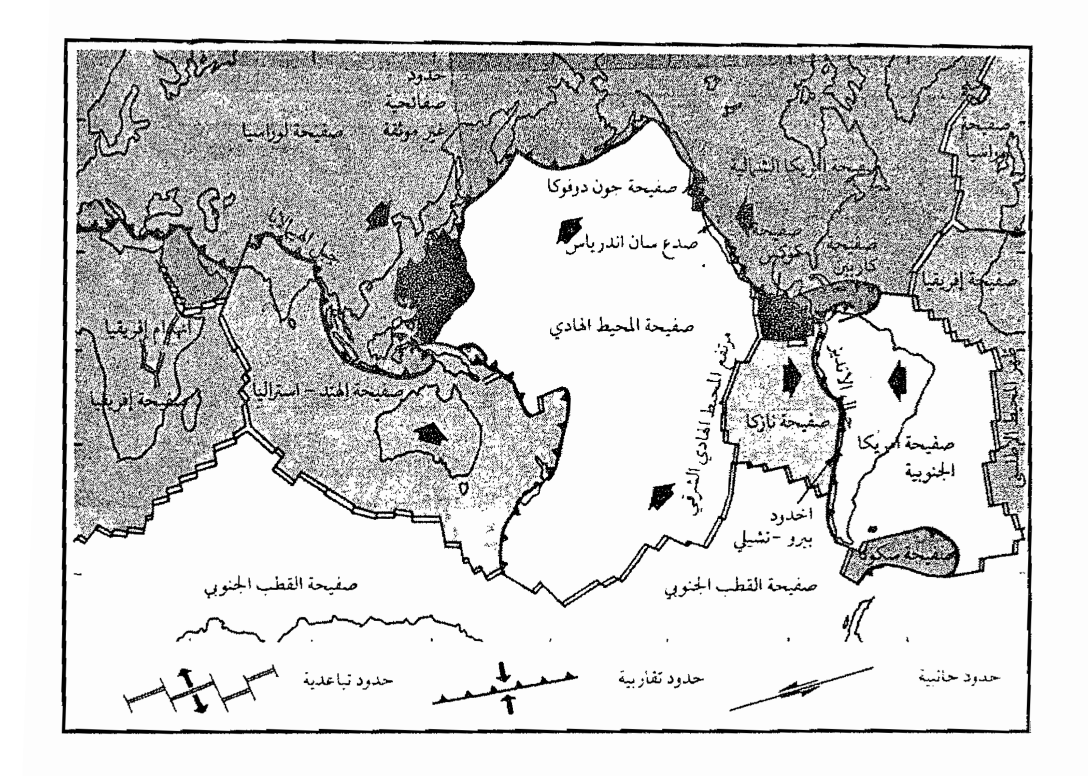
د- تفسير توسع قيعان المحيطات ونشأتها.

هـ- تفسير تكون السلاسل الجبلية.

وتبعاً لذلك، فإن حركة الصفائح وتفاعلها، يقود إلى تفسير نشأة المحيطات وتوسعها، وبناد السلاسل الجبلية، وتكون الزلازل والبراكين ونشأة القارات وتطورها، وتبعاً لنظرية الصفائح، فإن القشرة الأرضية تقسم إلى ستة صفائح (ألواح) كبيرة، وعدة ألواح صغيرة (14 لوحاً) متجاورة، وهذه الصفائح تطفو فوق الغلاف المائع لطبقة الستار (الأستيوسفير)، وتتحرك على سطحه ويقصد بالصفيحة الأرضية بأنها: قطعة متماسكة من طبقة الغلاف الصخري تطفو فوق الغلاف المائع في طبقة الستار (الأستينوسفير)، وتتحرك على سطحه، ويتراوح سمك الصفيحة تحت المحيطات ما بين (80-100)كم، وأما تحت المناطق القارية فيتراوح سمكها بين (100-250) كم.

وتعد صفيحة المحيط الهادى أكبر هذه الصفائح، وهي صفيحة محيطية وأما الصفيحة الإفريقية فهي صفيحة قارية ومحيطية، وتحمل قارة أفريقية وجانباً من المحيط الهندي والمحيط الأطلسي.

وأما عن طبيعة حركة هذه الصفائح، فهي تتحرك حركة مستقلة عـن بعضـها إلى بعض، وبكلمات أخرى، إذا حددنا نقطتين مثل (أ، ب) على صفحية واحدة، فـإن المسافة بين النقطتين تبقى ثابتة مع الزمن، ولكن اذا حددنـا النقطتـين (أ،ب) علـى صفيحتين متجاورتين، فإن المسافة بينهما تتغير بصورة مستمرة، ومن هنـا نسـتدل أن الصفيحة الواحدة تتحرك كوحدة مستقلة، وتقع معظم آثار هذه الحركة علـى حـدود الصفائح، وتظهر نتيجة لذلك بعض العمليات الداخليـة مثـل الـزلازل والـبراكين والجبال.



الشكل (2-13)(*) : الصفائح الأرضية الرئيسة المكونة لسطح الأرض

(*) كتاب علوم الأرض والبيئة: للصف الثاني الثانوي.

2-8-1 حدود الصفائح

علمت أن الصفائح تتحرك بصورة مستمرة، وبينها حدود معينة، وتتميز حركتها إلى عدة صور وأشكال. فهي إما أن تتحرك مبتعدة عن بعضها إلى بعض، مثل تباعد صفيحة أمريكا الجنوبية عن صفيحة إفريقيا، ويسمى هذا النوع من الحركة بالحركة التباعدية، أو أنها تتحرك مقتربة من بعضها إلى بعض مثل تقارب صفيحة نازكا من صفيحة أمريكا الجنوبية، أنظر الشكل (2-13)، وسمي هذا النوع من الحركة بالحركة التقاربية، وهناك نوع ثالث من حركات الصفائح هو الحركة الجانبية، وتظهر في مناطق الصدوع مثل صدع سان أندرياس في أمريكا الشمالية.

والسؤال المطروح هنا هو: أين تقع حدود الصفائح؟

إن حدود الصفائح تقع في المواقع التالية:

أ- ظهور المحيطات: وهنا يكون للصفائح حركة تباعدية عن بعضها إلى بعض، وتسمى الحدود بين الصفائح بالحدود المتباعدة أو الحدودة البناءة.

ب- الأخاديد البحرية: وتتميز حركة الصفائح هنا بأنها حركة تقاربية، وتسمى الحدود بين الصفائح بالحدود المتقاربة أو الحدود الهدامة.

جـ- صدوع التحويل: وتتحرك الصفائح هنا بمحاذاة بعضها إلى بعض، وتسمى بالحدود الجانبية أو الحدود المحافظة.

وفيما يلي سنتناول بالدراسة هذه الحدود:

1- الحدود المتباعدة ونشأة المحيطات (الحدود البناءة)

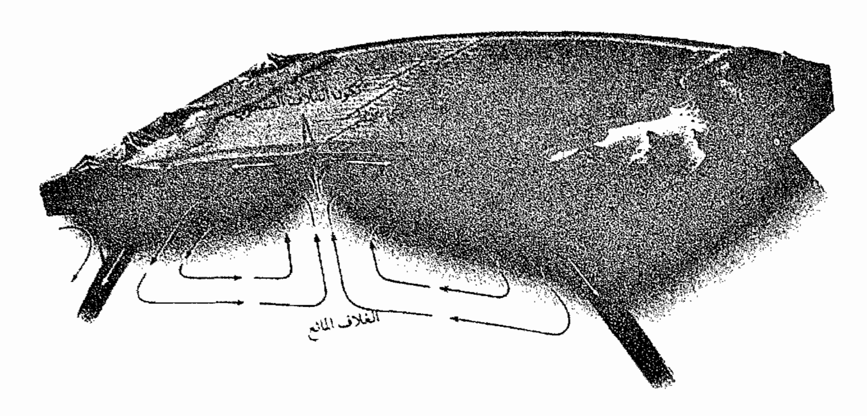
يحدث هذا النوع من الحدود في قاع المحيط، وفيه تبتعد الصفائح عن بعضها إلى بعض، وينبثق على طول هذه الحدود الصهير الصخري الذي يكون مصدره منطقة الستار العلوي (الإستينوسفير) ويكون غلافا جديدا بين الحدود المتباعدة، ولهذا تسمى هذه الحدود بالحدود البناءة.

ومن أبرز المظاهر التكونية التي يمكن أن تلاحظ هنا ما يلي:

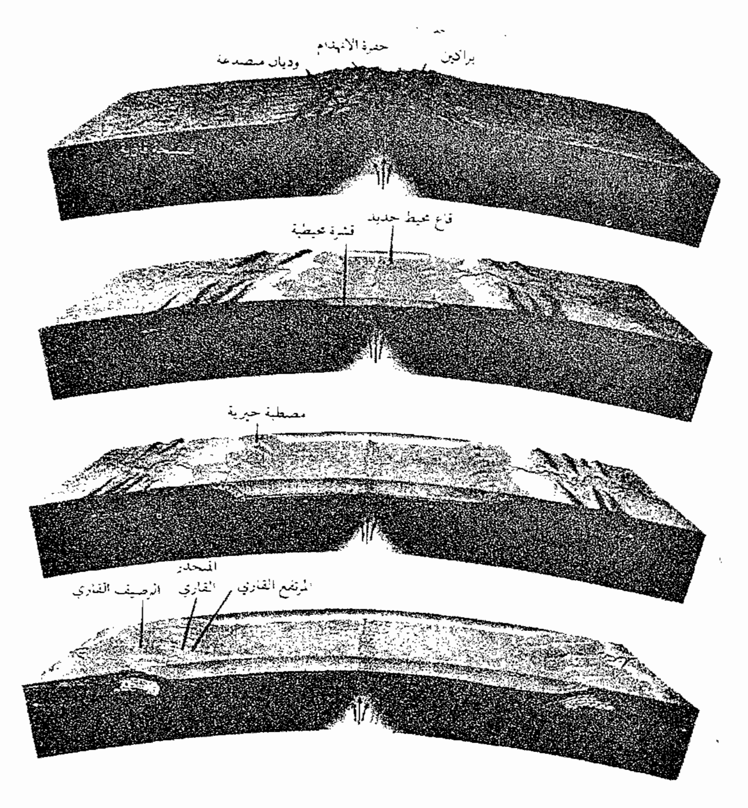
أ- التباعد المحيطي وتوسع قاع المحيط: ما يميز الحدود المتباعدة في وسط المحيط، هو وجود ظهر للمحيط (وهو مكان للتوسع)، وهنا يحدث تباعد الصفيحتين عن بعضهما إلى بعض، ثم يندفع الصهير الصخري القادم من الغلاف المائع ليملأ الفراغ الذي تكون نتيجة هذا التباعد، وبعد ذلك تبرد مادة الصهير وتتصلب لتكون غلافا جديدا، ومع استمرار تباعد الصفيحتين يستمر أيضا خروج الصهير الصخري ويبرد ليكون غلافا صخريا جديدا، ويستمر هذه العملية انظر الشكل (2-14- أ) وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة توسع قاع المحيط، وهي من نوع الحدود البناءة، ومن أمثلتها ظهور قمم بركانية على سطح البحر مكونة جزرا، مثل جزيرة أيسلنده.

سؤال: لماذا سميت ظاهرة الحدود المتباعدة بأنها حدود بناءة؟

ب- نشأة قاع المحيط: يعتقد العلماء أن بعض القارات تتعرض -أحيانا- (مثل القارة الأم بانغايا) إلى عملية صعود الماغما من منطقة الستار العلوي (الإستينوسفير) إلى أسفل هذه القارات، ونتيجة لذلك فإن الغلاف الصخري يتمدد ويتشقق، وفي نهاية الأمر فإنه ينقسم إلى صفيحتين، وتتكون حفرة إنهدام، وبعدها تبتعد الصفيحتان عن بعضهما، ويتكون بحر ضيق يتوسع بعدها ليتحول إلى محيط واسع، ومن أشهر الأمثلة على هذه الحالة هو البحر الأحمر الذي يقع بين لوحين قاريين، هما اللوح الإفريقي، واللوح العربي وهو يمثل مرحلة مبكرة في تكوين محيط بين كتلتين قاريتين، أنظر الشكل (2-14-ب).



أ- نموذج يوضح متوسع قاع المحيط.



ب- نموذج يوضح نشأة قاع المحيط.

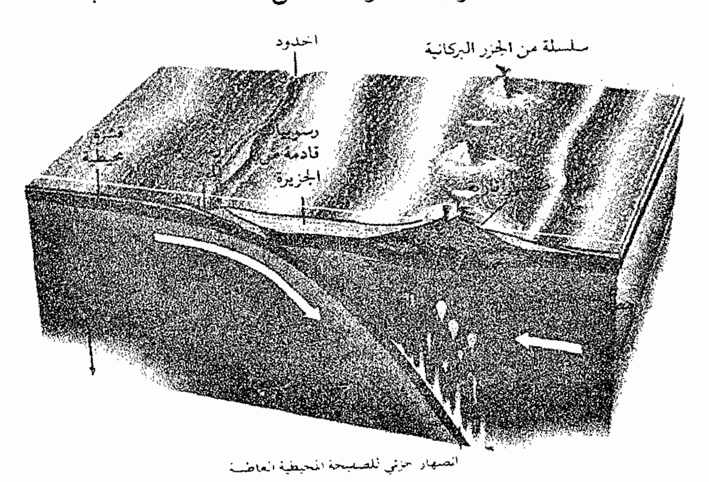
الشكل(*) (2-14) : الحدود المتباعدة

(*) الأشكال جميعها في هذا الجزء أخذت من كتاب علوم الأرض والبيئة للصف الثاني الثانوي.

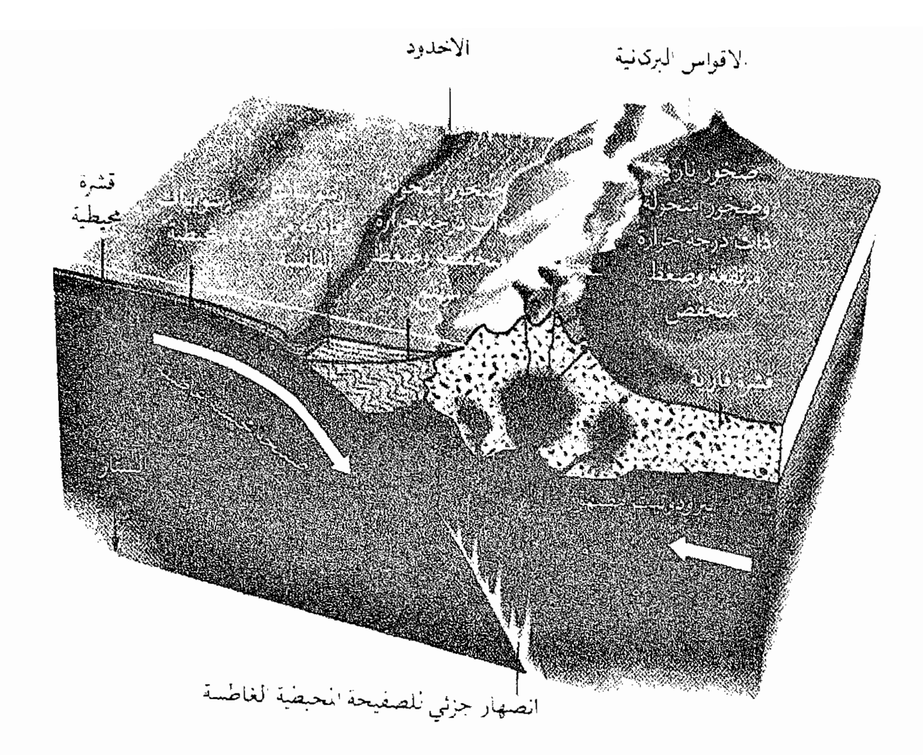
2- الحدود المتقاربة (الحدود الهدامة)

لعلك لاحظت من الشكل (2-13) أن صفيحة أوراسيا وصفيحة أمريكا الشمالية تبتعدان عن بعضهما بعضا من ظهر وسط محيط الأطلسي، وبذلك يتكون غلاف محيطي جديد، ويقود هذا إلى الاستنتاج أن حجم الأرض يزداد وتزداد معه مساحة سطحها، ومن الطبيعي أن هذا يخالف الواقع، فما هو واقع الحال؟

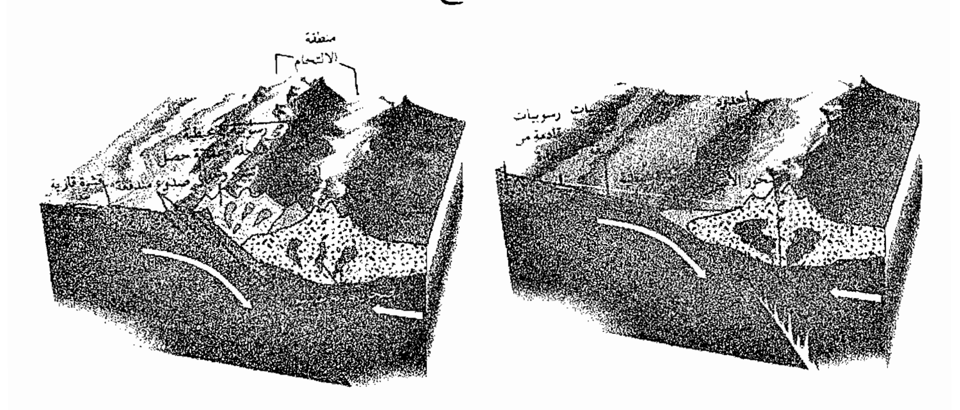
ومن أجل إجابة السؤال المطروح، دعنا نلجأ إلى ظاهرة الدفق الحراري وقياساتها، ويعرف الدفق الحراري بأنه كمية الحرارة المتدفقة من سطح الأرض، وتقاس بوحدة السعر لكل (1)سم2، وتدل قياسات الدفق الحراري عبر قاع المحيط أن أعلى قيمة لهذا الدفق يحدث عند قمة ظهر المحيط، وتتناقص تدريجيا باتجاه القارة، وهذا يؤدي إلى أن كثافة الصفيحة المحيطية تزداد كلما اتجهنا باتجاه القارة (لماذا)؟ وعندما تقترب صفيحة محيطية من صفيحية قارية، فإن أطراف الصفيحة المحيطية تكون ذات كثافة مرتفعة، وهذا يؤدي إلى غوص الصفيحة المحيطية في الغلاف المائع أسفل الصفيحة القارية، وفي أثناء غوص الصفيحة المحيطية في الغلاف المائع ترتفع درجة حرارتها وتنصهر تدريجيا، ويسمى هذا النوع من حركة الصفائح بأنه الطرح أو الغوص، ويتم فيه استهلاك الصفيحة المحيطية أو أطرافها. ويحصل أيضا، في حالة أخرى، عندما تقترب صفيحتان محيطيتان من بعضهما إلى بعض أن تنزلق إحدى الصفيحتين تحت الصفيحة الأخرى. أنظر الشكل (2-15 - أ، ب).



نطاق تقارب سلسلة قارية مع أخرى محيطية



نطاقات تقارب الصفائح: محيطية - محيطية



تصادم قاري - قاري وتكوين سلاسل جبلية حديثة في وسط القارة الكبيرة الجديدة

الشكل (2-15) : نماذج توضح الحركات المتقاربة

ومن الأمثلة المشهورة على أماكن الاستهلاك، هو استهلاك قاع المحيط الهادى تحت جزر اليابان والفليبين، وكذلك قاع المحيط الهادى في الشمال تحت الاسكا، وأيضا شرق المحيط الهادى تحت التشيلي في غرب أمريكا الجنوبية.

وأما عندما تقترب صفيحتان قاريتان من بعضهما إلى بعض، فإن ذلك يؤدي إلى تصادم الصفيحتين، وفي هذه الحالة لن يحدث استهلاك مثل الحالة السابقة بل ما يحدث هو اصطدام بما تعنيه هذه الكلمة. ومع استمرار حركة الصفيحتين فإن الصخور في منطقة التصادم تنكمش وتشغل مساحة أقل من تلك قبل حدوث التصادم. وما يساعد علي ذلك هو قوة الدفع التي تنشأ من ظهر المحيط، والتي تسبب ضغطا يؤدي إلى حدوث تشوه في أطراف الصفائح وينتج عنه جبال مرتفعة.

وبكلمات أخرى، ينتج عن التصادم في الحدود المتقاربة، استهلاك جزء من القشرة المحيطية مع الزمن وينتج جبال، ولذلك تسمى الحدود المتقاربة بأنها حدود هدامة. أنظر الشكل (2-15- جـ).

وأما المظاهر التكتونية التي تنتج عن الحدود المتقاربة فهي ما يلي:

أ- تقارب صفيحة محيطية مع صفيحة أخرى قارية

يعد هذا النوع من التقارب من نوع تقارب الطرح (الاستهلاك) حيث تنزلق الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية، وتغوص في الغلاف المائع (الإستينوسفير) أسفلها، وتبقى الصفيحة القارية طافية.

ومن الأمثلة المشهورة على ذلك، هو أخدود بيرو- تشيلي، الذي يقع غرب أمريكا الجنوبية، وينتج عن إنزلاق صفيحة نازكا المحيطية تحت الصفيحة القارية لأمريكا الجنوبية.

ب- تقارب صفيحة محيطية مع صفيحية أخرى محيطية

وتحدث الحدود المتقاربة هنا داخل المحيطات، وتلتقي صفيحتان محيطيتان، فتغوص إحدى الصفيحتين تحت الأخرى، وهذا يشبه تماما ما حدث عند غوص صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية في الحالة (أ) أعلاه.

وينشأ عن هـذه الظـاهرة بعـض المظـاهر التكتونيـة مثـل: الأخـاديد، والجـزر البركانية مثل جزيرة مريانا.

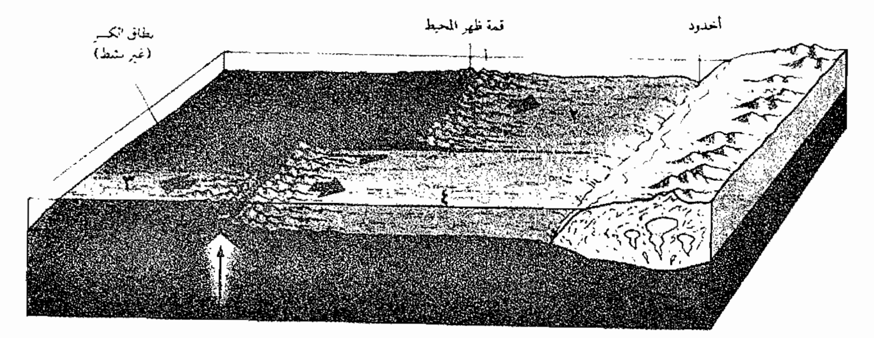
جـ- تقارب صفيحة قارية مع صفيحة قارية أخرى

ويحدث هذا بين صفيحتين قاريتين يفصل بينهما صفيحة محيطية، ويتم باقـتراب صفيحتين وحدوث تصادم بينهما، فتنزلق إحدى الصفيحتين تحت الصفيحـة الأخـرى لمسافة قصيرة، ولكنها لا تطرح تحت السـتار، ويـؤدي هـذا التصـادم بـين الصفيحتـين القاريتين إلى التحامهما على طول نطاق الالتحام، الذي يمثل مواقع طرح قديمة.

ومن أشهر الأمثلة على هذا النوع من التقارب القـاري، هـو جزيـرة قـبرص، وسلسلة جبال عمان وشمال سوريا.

3- الحدود الجانبية (المحافظة)

أنظر الشكل (2-16)، ويمثل حركة صفائح تباعديـة، وتمثـل الحـدود الجانبيـة على هذا الشكل بين الصفيحتين (4،1) وتسمى بحركة الصفائح الجانبية.



الشكل (2-16)(*) : رسم تخطيطي يوضح الحدود الجانبية

ولعلك لاحظت أن الحدود هنـا تتحـرك فيـها الصفـائح بمحـاذاة بعضـها إلى بعض في اتجاهين متضادين على طول صدوع، تسمى صـدوع التحويـل، ولا يتكـون غلاف صخري جديد كما هــو الحـال في ظـهور المحيطـات، وأيضـا لا يتـم اسـتهلاك الغلاف الصخري كما هو الحال عن الأخاديد البحرية.

ومن الأمثلة الشائعة لدينا في الأردن، هو صدع البحر الميت التحويلي.

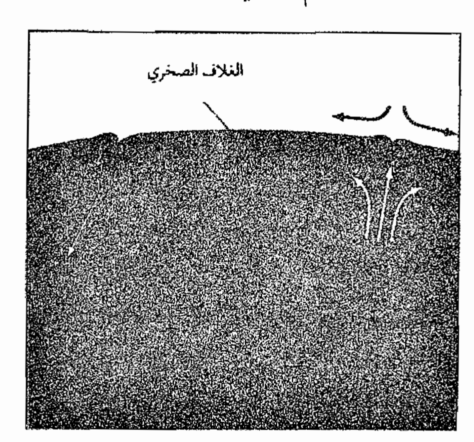
(*) علوم الأرض والبيئة، للصف الثاني الثانوي.

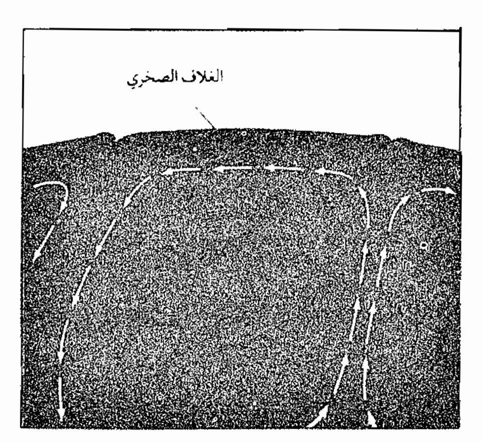
2-8-2 ما أسباب حركة الصفائح؟

لا يتفق العلماء على تفسير واضح محدد لأسباب حركة الصفائح، وهناك رأيان (أو أكثر)، وهما الآتيان:

- الفرضية الأولى: تيارات الحمل، ويعود سبب حركة الصفائح إلى وجود مناطق ساخنة أسفل القشرة الأرضية، أي في منطقة الإستينوسفير، وتؤدي هذه المناطق الساخنة إلى تكوين تيارات صاعدة من المادة الصخرية الصهارية الساخنة، ويرى بعض العلماء إلى أن سبب سخونتها يعود لوجود تركيز عال للنظائر المشعة فيها.
- الفرضية الثانية: السحب والدفع، إن سبب حركات الصفائح يعود إلى حركات في نفس الطبقة الصخرية التي تتكون منها القشرة الأرضية، وقد يكون لاندفاع الصهارة في مناطق الحدود البناءة، وسقوط أجزاء الغلاف الصخري في منطقة الإستينوسفير هو سبب لحدوث حركة الصفائح.

نشاط: أنظر الشكل (2-17) ويمثل فيه الرسم الأيمن تفسيرا للفرضية الثانية، والرسم الأيسر يمثل تفسيرا للفرضية الأولى، قم بالمطابقة بين محتوى كل فرضية والرسم الذي يمثلها.





الشكل (2-17)[*] : نموذجان لتفسير القوة المحركة للصفائح

(*) علوم الأرض والبيئة: الصف الثانوي العلمي.

خلاصة:

تعتبر الحدود الهدامة والحدود البناءة أماكن للنشاط البركاني والزلــزالي، وأمـا النشاط البركاني فيمكن حدوثه في منطقتين من المنــاطق بـين الصفـائح التكتونيـة، وهما الآتيتان:

أ- المناطق الواقعة بين صفيحة محيطية وأخرى قارية، أو بين صفيحتــين محيطيتـين، وتتميز الإنبثاقات البركانية الصــهير الصخـري أو اللابـة، بأنـها مـادة درجـة حمضيتها معتدلة، تسمى الأنديزايت، وتكون صخور نارية بركانية مثل صخـور البازلت.

ب- المناطق الواقعة بين السلاسل الجبلية بين صفيحتين قاريتين، وتتميز اللابة بـأن درجة حمضيتها عالية، وتتميز أيضا بارتفاع نسبة السليكا فيها وتكون صخــور الجرانيت.

وأما الزلازل العميقة التي تنتشر على طول الحدود الهدامة للصفــائح فيعتقـد العلماء أنها نتيجة لإنزلاق الصفائح المحيطية تحت صفائح أخرى، محيطية أو قارية.

- بداية حركة الصفائح: تفترض نظرية تكتونية الأرض أن حركات الصفـائح قـد وجدت منذ تكون القشرة الأرضية، إلا أن الحركات الحالية قـد بـدأت منـذ بـدء عملية تجزئة القارة الأم بانغايا، التي تكونت منذ (200) مليون عام. كمـا تمكننـا هذه النظرية من التنبؤ بما سوف يحدث في الخمسين مليون سنة القادمــة؛ فيعتقـد أن قارة إفريقيا ستتجزأ على امتداد الصدع التحويلي العربي (الــذي يمتـد مـن خليج العقبة إلى البحر الأحمر جنوبا، وشمال ســوريا شمـالا) وبذلـك فـإن البحـر الأحمر سيتسع ويقـترب مـن اسـتراليا وأندونيسـيا، كمـا سيتسـع أيضـا المحيـط الأطلسي على حساب تقزم المحيط الهادى، وتتبــاعد الأمريكيتـان عـن بعضـهما بعضا بينما ستجد ولاية كاليفورنيا في أمريكـا نفسـها قـرب جزيـرة الاسـكا في الشمال.

2-9 أسئلة الفصل الثاني

1- فسر ما يلي تفسيرا علميا، دقيقا:

أ- تحافظ الكوكبات النجمية على شكل ثابت عبر آلاف السنوات.

ب- السدم هي محاضن النجوم التي تنشأ فيها.

جـ- تحدث التفاعلات النووية الاندماجية في أعماق النجم وليس على سطحه.

د- يتحول النجم الأولي إلى نجم حقيقي (عادي).

هـ- تختلف الأطياف التي تحصل عليها عند تحليل أشعة الشمس.

و- تقل درجة حرارة الكوكب كلما زاد بعده عن الشمس.

ز- دراسة موهو ريفيتشيك هامة في وضع نموذج حديث يمثل التركيب الداخلي للأرض.

ل- يوجد للأرض مغناطيسية.

س- تتحرك الصفائح التكتونية بصورة مستمرة.

ع- تتكون جزر جديدة عند ظهر المحيط.

2- ما مصدر الطاقة لكل مما يلي:

أ- النجم الأولي.

ب- النجم.

جـ- أجرام المجموعة الشمسية.

د- أجرام المجرة.

هـ- الكوكبة النجمية.

3- أذكر فرقين بين كل فكرتين مما يأتي:

أ- الكوكب والكويكب.

ب- السحب الغازية والسدم.

جـ- السدم والمجرات.

د- نيزك الكوندريت ونيزك اللاكتدريت.

هـ- الأرض والمشتري.

س- التروبوسفير والإستراتوسفير.

ش- الثيرموسفير والإكسوسفير.

و- حركة الأرض حول ذاتها وحول الشمس.

و- نظرية بوفون وتشامبرلن ومولتن.

ي- نظرية سحابة السديم والنظرية الحديثة.

4- وضع العالم بود سنة (1772م) قانونه المعروف باسمه، ما فوائده في ميدان الفلك؟

5- ما هي التقنيات والأجهزة التي تستخدم لرصد كل مما يلي: الشهب، الكوكبة، البوليسار، الخرق الأسود، العيوق.

6- كان لدراسات الموجات الزلزالية، أثر هام في تحديث نموذج فان بولين، ما هي نتائج هذه الدراسات؟ وماذا أضافت للنموذج؟

7- عرف الأفكار التالية:

اللامستمر، انقطاع إنجه، ستينوسفير، نيزك، نظرية تكتونية الأرض، حدود جانبيه، مجرة، نجم، مجرة عنقودية.

8- وضح ما يلي مع الرسم:

أ- تكون سلاسل الجبال.

ب- تكون الجزر داخل المحيطات.

جـ- تكون الصدوع التحويلية.

9- إشرح بايجاز طريقة العالم موهو ريفتشيك في دراسته للموجات الزلزالية، ما نتائج الدراسة؟

10- إشرح بايجاز ما يلي من حيث المفهوم:

أ- الغلاف الصخري.

ب- الغلاف الحيوي.

جـ- الستار.

11- ما هو عدد الصفائح الصخرية التكتونية التي يتكون منها سطح القشرة الأرضية. ما أنواعها؟

12- ما هي الحركات التي تحدث بين الصفائح التكتونية، ما المظاهر الجيولوجية التي تنشأ عن هذه الحركات؟

13- سم ثلاثة أدلة تؤكد حركة الصفائح التكتونية؟

14- لماذا يتكون كل مما يلي:

أ- التوسع المحيطي.

ب- نشأة المحيط.

جـ- الأخاديد.

د- الدفق الحراري.

15- ما نوع الحركات التكتونية التي تحدث عند كل من جبال هملايا وجبال أطلس؟

16- لماذا تحدث الزلازل حسبما تفسر ذلك نظرية تكتونية الألواح الصفائح؟

17- أين تحدث معظم البراكين حول العالم حسبما تتنبأ نظرية تكتونية الألواح؟

18- كيف تفسر ظهور مغناطيسية حول الأرض؟

19- كيف نستطيع تحديد أصل الأرض.

20- كيف نفسر حركة الصفائح التكتونية؟

21- أين يوجد أكبر سمك للقشرة الأرضية، فسر ذلك؟

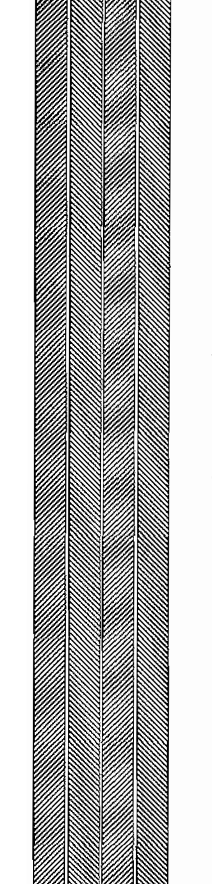
22- كيف نحسب معدل كثافة الأرض؟ وكيف يفيد ذلك في اكتشاف أعماق الأرض؟

23- ما هو الدليل على أن درجات الحرارة تزداد مع زيادة المسافة عن سطح الأرض؟ هل يفيد ذلك في توضيح الطبقات الداخلية؟

24- صف نوا ة الأرض؟

25- ما هو الموهو؟ كيف ساعد في تحديث نموذج باطن الأرض؟

الفصل الثالث



العمليات الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية

يقدم هذا الفصل إطلالة على مظاهر جيولوجية عنيفة يلحظها الانسان مثل البركان والزلازل، ويتعرض إلى الأسباب والعوامل التي تؤدي إلى حدوثها ولا يغفل عن دراستهما من منظور حديث هو نظرية الصفائح التكتونية.

كما يعرض الفصل إلى دراسة ظواهر جيولوجية أخرى مثل التراكيب الجيولوجية الأولية والثانوية وما تسببان من مظاهر بانية للجبال والوديان على سطوح الأرض.

3

العمليات الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية

3-1 المقدمة

تدل المشاهدات المختلفة لسطح القشرة الأرضية أن هناك تغييرات تحدث على هذا السطح، وهي من أشكال التغييرات البطيئة جداً التي يمكن تحديد سرعة حدوثها باستخدام التقنيات الجيولوجية المختلفة ورب سائل يسأل؛ ما سبب حدوث هذه التغييرات في المادة التي يتكون منها سطح القشرة الأرضية؟

ويعتقد العلماء ان سبب هذه التغييرات هو كمية الطاقة التي يكتسبها سطح القشرة الأرضية من مصدرين أساسين، وهما:

1- الطاقة التي يكتسبها سطح القشرة الأرضية من الشمس، ويكون معظمها على شكل طاقة حرارية وطاقة ضوئية، وتؤثر هذه الطاقة على الأغلفة العديدة لسطح القشرة الأرضية وهي: الجوية، والمائية، والصخرية والحيوية.

وهذه الطاقة هي مصدر التغييرات التي تنتج عنها العمليات الخارجية التي تحدث على هذا السطح مثل التجوية والتعرية (الحت) والترسيب، وبكلمات أخرى، تحدث الطاقة الشمسية حركات في الأغلفة المختلفة مما يؤدي إلى هدم المناطق المرتفعة فوق سطح القشرة الأرضية ثم نقل الفتات إلى أحواض الترسيب، وبالتالي تؤدي إلى إزالة تضاريس عنه وإضافة تضاريس جديدة له.

2- طاقة يكتسبها سطح القشرة الأرضية من باطن الارض، ويعتقد العلماء ان مصدر هذه الطاقة الحرارية في باطن الأرض هو النظائر المشعة الموجودة في طبقة الستار واللب (النواة) وتحدث هذه الطاقة على صورة تيارات حرارية صاعدة وهابطة في طبقة الاستينوسفير (الستار)، وتقود إلى حركة الصفائح الصخرية المكونة للقشرة الأرضية، ويرافقها حدوث حركات أرضية داخل الأرض.

وعموماً، إن باطن الأرض ليس ساكناً لا حركة فيه، بـل هنـاك حركـات علـى عدة أنواع داخل الأرض وخارجها ويمكن ملاحظـة (مشـاهدة) نوعـين منـها، وهمـا الآتيان:

النوع الأول: حركات أرضية سريعة، وهذه يشعر الانسان بـها وتتـم في وقـت قصير، وسندرس في هذا الفصل من هذا النوع من الحركات الزلازل والبراكين.

النوع الثـاني: حركـات أرضيـة بطيئـة، وتحـدث في زمـن طويـل ولا يتلمـس الانسان آثارها، لكن يمكن مشاهدة نتائجها في صخور القشرة الأرضية والمتمثلـة في نشأة الجبال والقارات، وسندرس هنا منها بعض التراكيب الجيولوجية، مثل: التطبـق والطيات، والصدوع والفوالق والفواصل.

2-3 الحركات الأرضية السريعة

وهذه الحركات نوع من المشاهدات تمثلها الزلازل والبراكين، وتحدث في سطح القشرة الأرضية عمليات هدم وبناء وتغيير في تضاريس هذا السطح.

1-2-3 الزلازل

لقد درسنا سابقاً خصائص الأرض بنية وتركيباً وحرارة، ولاحظنا أنـها تمتلـك طاقة حرارية كبيرة تتحول بصورة مستمرة إلى طاقة حركية تدفع وتحرك أجزاء الأرض الخارجية باتجاهات مختلفة، وتحرك في الوقت نفسـه المـواد الموجـودة ضمنـها بأشـكال متعاكسة في كثير من الأحيان، مما يؤدي إلى إحداث تغييرات دائمة في مظـهر القشـرة الأرضية، وقد ترتفع صفائح أو مناطق أحياناً وتغوص صفائح أخرى في أحيان أخرى، ومن هنا تبدأ الزلازل بالظهور، فما هو الزلزال؟

1-1-2-3 ما الزلازل؟

الزلزال هو هزة أرضية تـأخذ شـكل ارتعـاش أو تحـرك عنيـف في الصخـور القريبة من سطح القشرة الأرضية، لا يتعدى زمن حدوثه في الغالب بـين (3) ثـوان إلى (3) دقائق، يعقبه طاقة من القشرة الأرضية تنتشر على شـكل موجـات زلزاليـة، ويعتقد بأن مصدر الطاقة هو إنكسار الصخـور إنكسـاراً مفاجئـاً بسـبب تعرضـها

للضغط أو الشد أو الازدواج الشديد الذي يوصلها إلى حد من الإجهاد يتسبب في أن تنفصل وتتعرض إلى التشوه والكسر، وينشأ من الزلزال أضرار وكوارث زلزالية.

وينبغي ان نعرف ان الموضع الذي تتكون فيه بؤرة الزلزال في باطن الأرض يسمى المركز العميق (البؤرة). اما الموضع الذي يعلوه على سطح الأرض فهو مركز الزلزال السطحي، ويمثل هذا الموضع المركز الذي تبلغ فيه قوة الزلزال أشد ما يمكن، أي أنه مركز التدمير الأساسي للزلزال حيث عنده يحدث الدمار والكوارث الزلزالية.

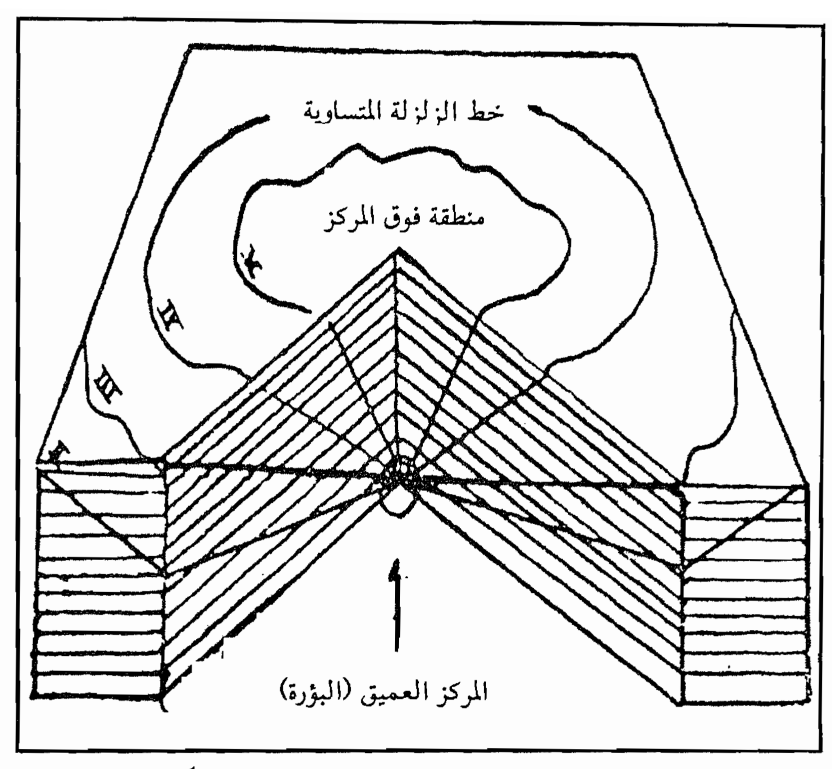
يشير الشكل (3-1) إلى رسم يمثل الزلزال، ويوضح خطوط الاهتزاز المتساوية ومنطقة التدمير والإشعاعات الاهتزازية.

وربما نسال عن أسباب حدوث الزلازل، يعتقد العلماء أن هناك أسباب وعوامل عدة تؤدي إلى ظهور الزلازل. وسنركز هنا على عاملين من هذه العوامل وهما: إما الإنفجار البركاني الذي يرافقه زلزال أو الصدع وانزلاق الصخور عليه والذي يعرف بالزلازل التكتونية.

أ- الإنفجار البركاني: يصاحب الإنفجار البركاني عادة انزلاقات صخور في الصدوع حول منطقة البركان. ويؤدي هذا إلى حدوث حركة وذبذبات سريعة تنتشر في جميع الاتجاهات، وتتحرك نتيجة لذلك الماجما وتخرج من أعماق الأرض إلى سطحها.

وتعتبر كمية الطاقة الزلزالية المتحررة محدودة ويعود ذلك إلى محدودية كمية الماجما المنبثقة من أعماق الأرض وأيضاً حجمها المحدود، ولذا نادراً ما تزيد قوة هذا النوع من الزلازل عن (5) درجات حسب مقياس ريختر، وعليه تكون خطورتها أقل من خطورة الزلازل التكتونية.

ب- الزلازل التكتونية: تحدث الزلازل التكتونية نتيجة صدع الألواح الصخرية (الصفائح الصخرية) عند أطرافها، فعندها تتحرك صفيحة صخرية محيطية أو قارية مقابل صفيحة صخرية أخرى، فإن الصخور تتعرض للإنكسار فجأة



الشكل (3-1) رسم تخطيطي يمثل زلزالاً

فينشأ عن انكسارها زلازل مدمرة ونتيجة للطاقة الحركية الهائلة المتحررة من انكسار الصخور فإن قوة بعض الزلازل من هذا النوع تصل إلى (9) درجات حسب مقياس ريختر، ويتركز حدوث هذا النوع من الزلازل غالباً على الحدود الواقعة بين صفائح القشرة الأرضية، وعلى الصدوع الرئيسية والعميقة ويعتبر أكثر أنواع الزلازل تدميراً.

ويمكن تفسير سبب حدوث الزلازل التكتونية باستخدام نظرية الارتداد المرن. وتبعاً لها، فإن تيارات الحمل تحرك الصفائح، ونتيجة لذلك تنحني الصخور وتختزن الطاقة، وعندما تكون كمية الطاقة المختزنة كبيرة فإنها تتغلب على قوة

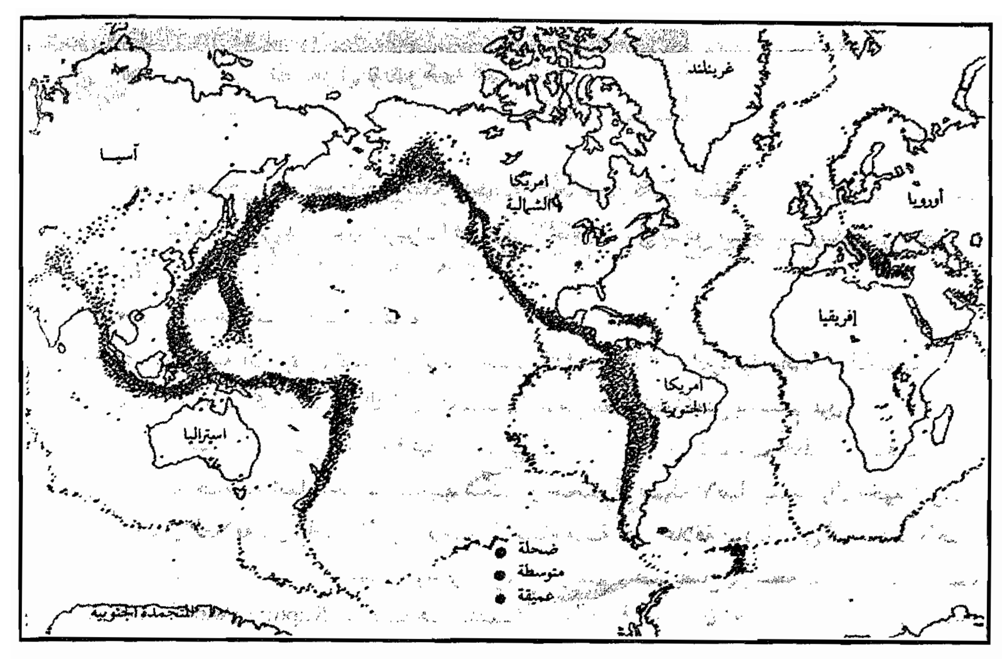
الصخر فينكسر وتنزلق الطبقات الصخرية في مكان الكسر، ويتلو ذلك تحرر الطاقة المختزنة على صورة موجات زلزالية تسبب الزلزال، كما وينشأ عن هذه العملية تكون الصدوع، وأما عندما يكون الصدع نشطاً، فإن حركة الصفائح تقل أو حتى تتوقف بسبب وجود قوة الاحتكاك بين الصفائح، وعندها تحدث انكسارات في الصخور مرة أخرى. وقد تعمل الطاقة المختزنة على التغلب على قوة الاحتكاك فيحدث الانزلاق على امتداد الصدع وتتحرر الطاقة المختزنة على صورة موجات زلزالية، ورب سائل يسأل: ما هي العلاقة بين حدوث الزلازل وحركة الصفائح؟

إن الزلازل المنتشرة على سطح القشرة الأرضية تحدث بمناطق محددة ولا تحكمها عشوائية التوزيع. أنظر الشكل (3-2) الذي يرى النشاط الزلزالي حول العالم، وكما يوضح مواقع البؤر الزلزالية على سطح الأرض لعله قد تبين لك ان مواقع البؤر الزلزالية على سطح الأرض تنتشر بشكل تجمعات تسمى أحزم الزلازل، وتكون هذه الأحزمة الزلزالية على إستواء واحد مع ظهور المحيطات وصدوع التحويل والأخاديد البحرية، ومن هنا يستدل ان ان مواقع البؤر الزلزالية تمثل حدوداً للصفائح التكتونية الأرضية، وتتوزع هذه الأحزمة كما يلي:

أ- الحزام الزلزالي المحيط بالمحيط الهادئ، وتقع عليه 70٪ من الزلازل.

ب- الحزام الزلزالي الذي يمتد في وسط المحيط الأطلسي.

جـ- الحزام الزلزالي الذي يمتد من البحر الأبيض المتوسط- جبال الهملايا ويقع عليه 20٪ من الزلازل.



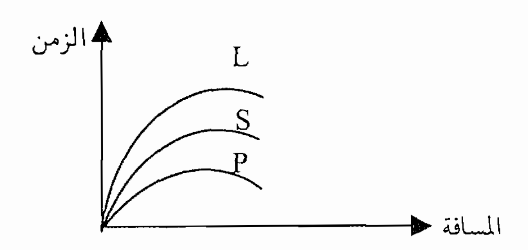
الشكل (3-2)(*): توزيع الزلازل في أنحاء المعمورة

3-2-1-2 ما الموجات الزلزالية؟ وكيف ترصد؟

عندما يحدث الصدع الأرضي وتتكون فيه البؤرة الزلزالية، تتحرك الصفائح الأرضية على طرفي الصدع بشدة فينطلق نتيجة لهذه الحركة المفاجئة والسريعة طاقة حركية هائلة تنتشر على شكل موجات اهتزازية مرنة هي: الموجات الاهتزازية الزلزالية المنطلقة من بؤرة الزلزال، وينتشر في الأوساط المحيطة بالبؤرة الزلزالية نموذجان من الموجات الاهتزازية الأساسية، وهما: الموجات الابتدائية (P)، والموجات المستعرضة (S)، وينبعث معهما نموذج ثالث هو الموجات السطحية (L)، وهذه الموجات الثلاثة تختلف بالسرعة، ولذا يختلف وقت وصولها إلى محطات رصد الزلازل. وتلتقط الموجات الزلزالية بواسطة جهاز السيزموغراف الذي يزودنا بمعلومات عن شدة الموجات الزلزالية وزمن وصولها، هذا وقد سبق ان شرحنا الموجات الزلزالية في نهاية الفصل الثاني في موضوع الطبقات الداخلية للأرض.

(*) علوم الأرض والبيئة – الصف الثاني الثانوي العلمي.

وهناك علاقة هامة يمكن أن تستخدم لتحديد مسافة انتقال الموجات الزلزالية من مركز نشأتها إلى محطة الرصد التي يقع فيها جهاز التسجيل السيزموغراف، وهذه العلاقة تعرّف بالفرق في الزمن بين وصول الموجات الابتدائية (أ)، ووصول الموجات المستعرضة (S)، وهذا الفرق يتناسب مع المسافة التي تقع بين محطة الرصد والمركز البؤدي للزلزال، ويمكن تمييز الموجات الزلزالية حسب وقت وصولها إلى محطة رصد الزلازل، ويوضح ذلك الشكل (3-3).



الشكل (3-3) : علاقة الموجات الزلزالية بزمن وصولها للمحطة

والسؤال الذي قد يخطر لنا هو: كيف يمكن تحديد موقع بؤرة زلزالية؟ نتمكن من تحديد موقع البؤرة الزلزالية عن طريق تعاون ثلاث محطات رصد زلازل قريبة من موقع الزلزال، ويحدد بعد الزلزال عن كل محطة من هذه المحطات الثلاث إما عن طريق العلاقة البيانية التي يمثلها الشكل (3-3) أو بحساب المسافة بتقدير زمن وصول الموجات الزلزالية وسرعتها تم تطبيق قانون المسافة = الزمن × سرعة الموجات، وترسم دائرة من كل محطة مركزها هو مكان المحطة ونصف قطرها هو المسافة المحسوبة، وتكون نقطة تقاطع الدوائر الثلاث هي موقع بؤرة الزلزال وكما يظهر في الشكل (3-4).

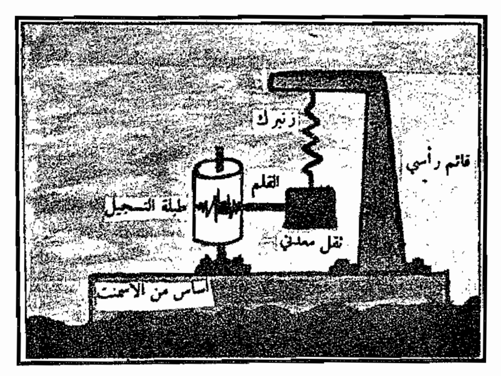
أ
بكين
طوكيو
ب
مانيلا

الشكل (3-4) : تحديد بؤرة زلزالية

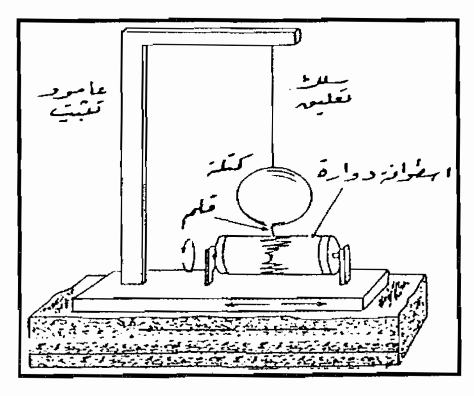
3-2-1-3 جهاز تسجيل الزلازل ورصدها

ويعرف بالسيزموغراف وهو جهاز استقبال حساس يتلقى الإشارات الموجية الاهتزازية ويسجل تذبذباتها وتأرجحاتها وسرعاتها بدقة، وله أنواع كثيرة تتراوح أوزانها بين كيلو غرام وبضعة أطنان. وتزود عادة كل محطة رصد للزلازل بثلاثة أجهزة تسجيل الزلازل (سيزموغراف) يخصص أحد هذه الأجهزة الثلاثة لقياس وتسجيل الموجات المستعرضة (العمودية (S))، ويخصص الجهازان الآخران لقياس الموجات الطولية (الابتدائية (P))، حيث يرتب أحدهما لقياس الموجات الطولية باتجاه شمال- جنوب، والآخر لقياس الموجات باتجاه شرق- غرب (لماذا يخصص جهازان للحركة الطولية؟).

ويوضح الشكل (3-5) نوعي جهاز تسجيل الزلازل (السيزموغراف) وتسجل الموجات الزلزالية على مقياس ورقي (السيسموغرام) يتصل مع الإسطوانة المتحركة على الجهاز، ويوضح هذا التسجيل التخطيطي (السيسموغرام) شدة الموجات وزمن وصولها إلى المحطة.



(أ) سيزموغراف الموجات المستعرضة

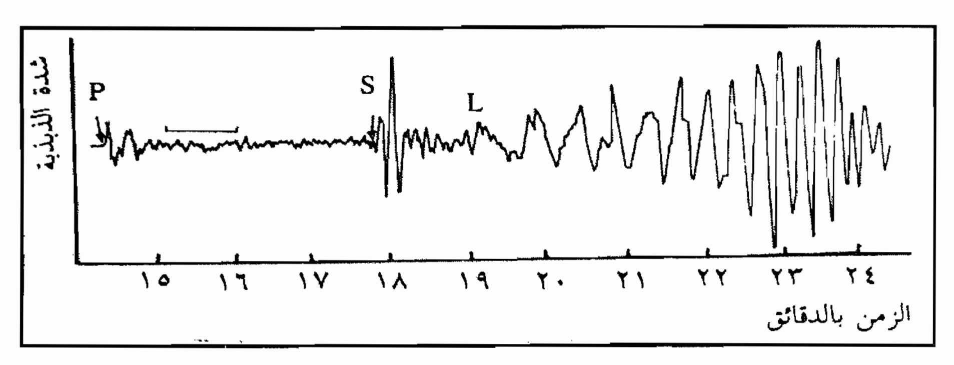


(ب) سيزموغراف الموجات الطولية

الشكل (3-5) نوعا السيزموغراف (للموجات الطولية والمستعرضة)

وتقاس قوة الزلزال عادة بوحدات مقياس ريختر ويدرج بين (1-8.9) درجات ريخترية، وهذا المقياس لوغاريتمي، والشكل (3-6) يبين منظر السجل الزلزالي (سيسموغرام)، فعلى سبيل المثال: إن زلزالاً قوته (2) درجة ريخترية يقابل في الشدة عشرة أضعاف زلزال له قوة تقابل وحدة واحدة من مقياس ريختر.

وأما الزلزال الذي له قوة تقابل ثلاث وحدات فهو أشد مئة مرة من زلزال قوته تقابل وحدة واحدة على المقياس نفسه.



الشكل (3-6)

3-2-1-4 الفرق بين شدة الزلازل وقوة الزلازل

يستخدم العلماء مفهومي شدة الزلزال وقوة الزلزال للتعبير عن حجم الزلزال، ويعرّف مفهوم شدة الزلزال على أنه مصطلح يستخدم لتقدير حجم الزلزال من وجهة النظر الوصفية، وتقاس هذه الشدة بمقياس ميركالي المكون من (12) درجة.

وأما مفهوم قوة الزلزال فهو مصطلح يستخدم لقياس الطاقة التي تنتج عن الزلزال، وتقاس قوة الزلزال بمقياس ريختر المكون من (9) درجات. فعلى سبيل المثال: في حالة اقتراضية عندما تقع البؤرة العميقة لزلزال تحت مدينة تل أبيب حيث تكون هذه المدينة المركز السطحي المدمر للزلزال فإن حجم الدمار هناك أكثر من حجم الدمار في مدينة إيلات، وبذلك فإن شدة الزلزال في تل أبيب أكثر منه في مدينة إيلات، وأما قوة الزلزال فهي ثابتة ولا تتأثر بالمكان الذي يحدث فيه الزلزال.

والجدول (3-1) يوضح قوة الزلزال وشدته وتأثير الزلزال في المنشآت المدنية وغيرها.

الجدول (3-1) : مقاييس الزلازل

شدة الزلزال/ مقياس ميركالي	الوصف	قوة الزلزال/ مقياس ريختر
1	- ضمن حدود قياس الأجهزة - تتحسسها أجهزة السيسموغراف	-
2 (ضعيفة)	- يشعر بها أناس قليلون	3.5
3(قليلة)	- لا يكاد يحس بها	4.2
4 (معتدلة)	- يحس بها المشاة	4.3
5 (قوية بعض الشيء)	- يستيقظ بعض الناس	4.8
6 (قوية)	- تترنح الأشجار وتسقط الأشياء	5.4-4.8
7 (قوية جداً)	- إنذار عام - تتشقق الجدران	6.1-5.5
8 (هدامة)	- تتأثر السيارات المتحركة	6.8-6.2
9 (مخربة)	- تسقط بعض البيوت وتتشقق الأرض	6.9
10 (كارثة)	- تتفتح الأرض وتحدث الانهيارات	7.3 - 7
11 (كارثة للغاية)	- تبقى بعض البنايات	8.1-7.4
12 (مفجعة)	- دمار تام	8.1- (أقصى درجة 8.9)

وتصنف الزلازل حسب عمق البؤرة الزلزالية لها إلى ثلاثة أنواع، وهي:

1- الزلازل الضحلة وتنشأ على عمق 70 كم.

2- الزلازل المتوسطة وتنشأ علي عمق بين 70-300كم.

3- الزلازل العميقة وتنشأ على عمق بين 300-700كم.

5-1-2-3 كيف نتنبأ بالزلازل؟

تستخدم الطرق التالية للتنبؤ بالزلازل قبل وقوعها:

1- استخدام جهاز التنبؤ بالزلازل الذي سبق شرحه، ويستخدم معه مقياسان وهما:

أ- مقياس ميركالي: ويقوم مبدأ عمله على تقدير شدة الزلزال.

ب- مقياس ريختر: ويقوم مبدأ عمله على تقدير الطاقة المتحررة من الزلزال.

وتقدر شدة الزلزال باستخدام العلاقة التالية:

الشدة = ف$_1$ × ف$_2$ × لوغاريتم الزمن

= 2.65 × 2.44 × لو$_{10}$ (الزمن)

حيث تبين لك ان ف$_1$، ف$_2$ هما ثابتان لهما القيم: 2.65، 2.44 على الترتيب.

مثال: إحسب شدة الزلزال وصل بعد 4 دقائق إلى محطة رصد الزلزال.

الشدة = 2.65 × 2.44 × لو$_{10}$ (الزمن)

= 2.65 × 2.44 × لو$_{10}$ 4

وباستخدام جداول اللوغارتيم

فإن الشدة = 2.65 × 2.44 × 0.6 = 3.9 درجة ميركالي

2- تزداد حركات بعض الحيوانات حادة السمع قبل وقوع الزلزال بزمن قصير، ومن أمثلة هذه الحيوانات: الفأر، والحمار الوحشي، والأفعى.

3- يزداد حجم غاز الرادون المتحرر من أماكن إنحباسه من الصخور وينتشر هذا الغاز عادة في المياه المخزونة في الآبار، وهذا الغاز ينطلق من تحلل عنصر الراديوم المشع الموجود في صخور القشرة الأرضية.

وكما نعلم، فإن هناك تأثيرات كبيرة مدمرة ترافق الزلازل ومنها، الخسائر المالية والمادية والخسائر في الأرواح، وأيضاً حدوث الصدوع في القشرة الأرضية، وقد تحدث انهيارات جليدية في المناطق المتجمدة من الكرة الأرضية.

3-2-2 دراسة البراكين

إن البراكين والإنفجارات البركانية تزودنا بأوضح الأدلة على الكم الهائل من الطاقة المخزونة في باطن الأرض، ومن فوهات هذه البراكين تندلع كميات

ضخمة من الصهارة على هيئة فيضانات من الحمم وسحب من الغازات والرماد، وإذا وصلت الصهارة المقذوفة إلى سطح الأرض فإنها تتحول إلى صخور نارية سطحية، وإذا لم تصل إلى السطح فإنها تتصلب داخل القشرة الأرضية، وتكون الصخور النارية المتدخلة.

3-2-2-1 ما البركان؟

يقصد بالبركان بأنه تراكمات من اللابة (اللافا) المتجمدة على سطح الأرض حيث تكون قباباً أو جبالاً مميزة الشكل، وهي في العادة مخروطية الشكل، وفي كل منها فوهة أو عدة فوهات تخرج منها اللابة، والبراكين الخامدة لا تخرج منها اللابة، أما البراكين النشطة فينبثق منها من حين إلى آخر كميات متفاوتة من اللابة، وبكلمات أخرى فإن البركان عبارة عن فوهة أو صدع في سطح الأرض تنبعث منه المواد البركانية بأحد أشكالها الصلبة والسائلة والغازية، أو كلها مجتمعة بدرجة حرارة تصل بين 60-1200° مئوية.

وفي العادة يتخذ البركان شكلاً مخروطياً ويتألف من الأجزاء التالية، كما يوضحها الشكل (3-7).

أ- المخروط ويتكون من صخور نارية:قديمة وحديثة ورسوبية.

ب- الفوهة الرئيسية.

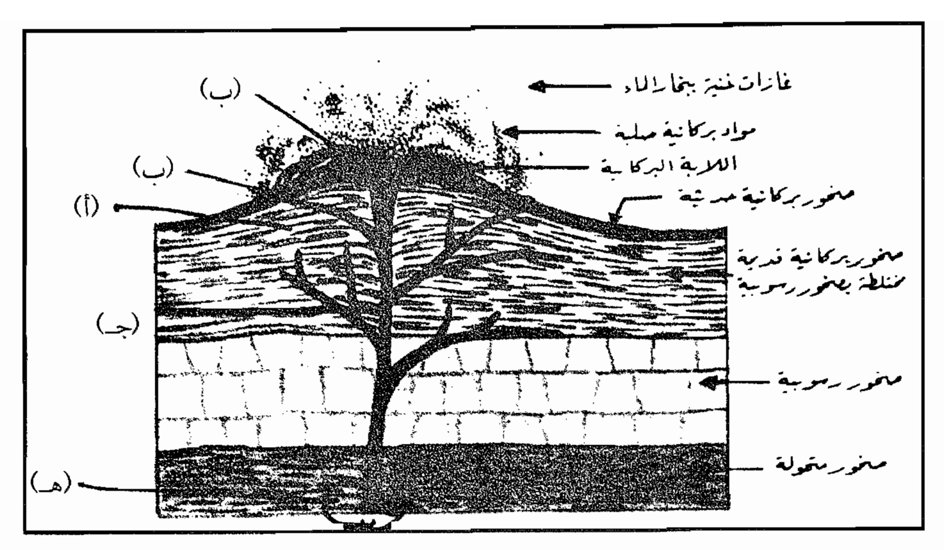
جـ- القصبة (المدخنة الرئيسية).

د- الفتحة.

ل- الفوهة الثانوية.

هـ- الخزان البركاني.

و- الماجما.



الشكل (3-7) : رسم تخطيطي يوضح أجزاء البركان المخروطي

3-2-2-2 نواتج البركان

يخرج من البركان عادةً العديد من المواد السائلة والغازية والصلبة، وتأخذ شكل مقذوفات، وهي التالية:

1- المقذوفات السائلة

تتكون من اللابة التي تخرج من فوهة البركان، وهي ذات درجة عالية أو قليلة من القاعدية والحامضية. ويتجمع على الرماد البركاني والغبار كميات من بخار الماء، وبعد ان يتكاثف في المنطقة التي ينشط فيها البركان فإنه ينزل على شكل مطر.

2- المواد الغازية

تنبعث من اللابة كميات من الغازات المختلفة، ومنها: غازات حامض الكلورريك، والكبريتيك، والفلورويك، والكبريت، وغاز الهيدروجين، وثاني أكسيد الكربون وثاني كبريتد الهيدروجين والأمونيا.

وتحدث عند فوهة البركان، عادةً انفجارات شديلة تشبه صوت الزلزال، وتعزى إلى التفاعل الشديد بين الهيدروجين المنبعث من البركان مع الاكسجين الجوي المتوافر في الغلاف الجوي حول فوهة البركان، وينتج عن التفاعل الماء.

3- المقذوفات الصلبة

وتشتمل على المواد الصخرية الموجودة عند فوهة البركان، ويتراوح حجم المواد الصلبة المنبعثة من البركان بين حجم دقائق الغبار إلى الكتل الصخرية التي تزن عدة أطنان، وتسمى المواد الصلبة المفتتة بالمواد البركانية الفتاتية أو البيروكلاست، وهي عدة أنواع ومنها ما يلي:

أ- الكتل والقنابل البركانية

إذا قذفت مادة صلبة من فوهة البركان، تسمى كتلة بركانية، وتتميز بأنها ذات شكل غير منتظم وغير أملس، أما اذا قذفت مادة سائلة وتصلبت خارج البركان فإنها تأخذ شكل حبة الكمثرى، وتسمى عندئذٍ بالقنبلة البركانية، وتتميز بأنها ذات شكل منتظم وأملس.

ويبلغ قطر الكتل والقنابل البركانية في العادة 32 ملليمتر (ملم).

ب- الحجر أو اللاب

وهي حبات من الصخور البركانية، يتراوح قطرها ما بين 32-4 ملم.

جـ- الرماد البركاني

ويبلغ قطر حباته من $\frac{1}{4}$ ربع ملم.

د- الغبار البركاني

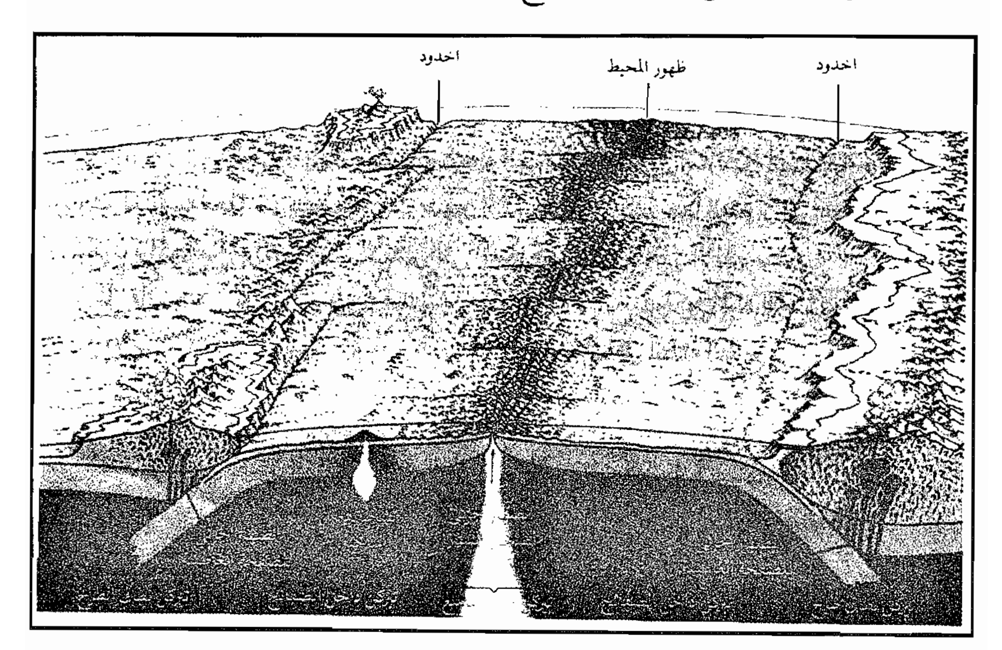
ويطلق على الدقائق أو الحبات التي يقل قطرها عن ربع ملم.

وتأخذ الماجما شكل الصهير الصخري أثناء وجودها تحت سطح الارض، أما إذا صعدت إلى السطح فإنها تسمى لابه أو لافا، والفرق بينهما ان الماجما تتحول إلى لافا عندما تصل سطح الأرض بفقدانها الغازات التي تنتشر حول فوهة البركان وتختلط مع الغلاف الجوي.

3-2-2-3 ما أسباب حدوث البركان؟

يعتقد بأن الصخور في جوف الأرض تخضع إلى درجات الحرارة العالية، وقد علمت سابقاً ان درجة الحرارة تزداد بزيادة العمق في باطن الأرض، فعند نقطة على عمق 100 كم تقريباً، تكون درجة الحرارة كافية لصهر الصخور.

وهناك عامل آخر يلعب دوراً في إنصهار الصخور، وهو ثقل عمود الصخر، والذي يبقيها في الأحوال العادية في حالة الصلابة، وإذا حدث في مكان من سطح القشرة نقصان في الضغط أو انفراج فيه نتيجة نقصان ثقل الصخور، فإن الماجما تصعد إلى سطح الأرض وينتج عن ذلك المقذوفات البركانية المختلفة وينشط البركان. وتنتشر البراكين النشطة والتي يبلغ عددها 650 بركاناً تقريباً، في ثلاثة مواقع رئيسية في العالم وهي: امتداد ظهور المحيطات، ومحاذاة الأخاديد البحرية، وأما الموقع الثالث فهو داخل الصفائح نفسها، أنظر الشكل (3-8). والبراكن عند ظهور المحيطات تحدث نتيجة ابتعاد الصفائح عن بعضها إلى بعض، فينخفض لذلك الضغط المؤثر في صخور الستار العلوي مما يؤدي إلى انخفاض درجة إنصهارها، فينجم عن ذلك إنصهار جزئي لهذه الصخور فتتكون ماجما بازلتية تصعد إلى أعلى وتملأ الشقوق الناتجة عن تباعد الصفائح الصخرية.



الشكل (3-8)(*): حركة الصفائح وحدوث البركان

(*) علوم الأرض والبيئة - الصف الثاني الثانوي.

وأما عند مناطق الطرح أو الغوص حيث تغوص صفيحة محيطية تحت أخرى محيطية أو قارية، فإنها ستصل إلى عمق معين ترتفع فيه درجة حرارتها، وينجم عن ذلك إنصهار الصفيحة الغاطسة إنصهاراً جزئياً، وينتج عن ذلك صهيراً يطفو إلى أعلى ليكون براكين تشبه براكين جبال الأنديز الذي اشتق منها اسم صخور الأنديزيت.

4-2-2-3 ما أهمية دراسة البراكين

تجيء أهمية دراسة البراكين لكونها تراكيب جيولوجية فريدة من نوعها، إذ تعتبر الأماكن الوحيدة التي تكون فيها اللابة المنبعثة من باطن الأرض قريبة من حالتها الأصلية، وهذه اللابة هي البيئة التي تتبلور فيها المعادن التي تتكون فيها الصخور النارية.

إن تحليل اللابة المنبعثة من البراكين يوفر لنا معلومات هامة عن تركيب الماجما التي تتكون منها الصخور النارية، وقد أفادت دراسة اللابة، ان هناك نوعان من الماجما (الصهارة) وهما الآتيان:

1- الصهارة البازلتية أو القاعدية (سيما)، وينبثق هذا النوع من الصهارة أو الماجما من البراكين الدرعية الموجودة فوق المناطق المحيطية، ويشير هذا إلى ان الصهارة في هذه المناطق بازلتية تتميز بأن درجة السيولة فيها عالية نظراً للنسبة الواطئة من السيليكا فيها إذ تصل إلى 60٪ تقريباً، وتعتبر ذات لزوجة عالية، وفي الوقت نفسه فإن نسبة الغازات فيها عالية.

2- الصهارة الحامضية (سيال)، وينبثق هذا النوع من الماجما من البراكين المركبة الموجودة فوق المناطق القارية، والماجما الحامضية ذات لزوجة عالية وتصل نسبة السيليكا فيها إلى حوالي 70٪، وأما نسبة الغازات فيها فهي أقل من النوع الأول، ولذلك فإن درجة سيولتها أو إنسيابتها قليلة، وهذه الصهارة الحامضية إما ان تكون صهارة من نوع الريوليت أو الأنديزيت.

وتفيد دراسة البراكين ان تكوين القشرة الأرضية هو من صخور نارية، وكما تفيد ان معظم القشرة الأرضية هو من معادن السيلكيا بدرجة تزيد عن 80٪ منها.

3-2-2-5 مناطق انتشار البراكين وتأثيراتها

تنتشر البراكين غالباً في المواقع التي تتعرض لقوى الشد والازدواج، ويكثر فيها الصدوع داخل القشرة الأرضية، ومثل هذه المواقع تقع في أعماق المحيطات أو بين كتلتين قاريتين مثل منطقة البحر الميت.

ويتفق العلماء على أن مناطق انتشار البراكين هي نفسها مناطق إنتشار مراكز البؤر الزلزالية، ويستدل من ذلك ان هذه المناطق تمثل حدود التحام ألواح كبيرة مكونة للقشرة الأرضية، وبكلمات أخرى، تتوزع الفوهات البركانية سوية مع الأحزمة الزلزالية، وتتركز في المناطق التالية:

1- حزام المحيط الهادى، ويتركز فيه 70٪ من عدد البراكين التي تحدث في القشرة الأرضية جميعها.
2- حزام السلاسل الجبلية الحديثة الممتدة من جبال هملايا وزاغروس وطوروس والألب وأطلس، وينتشر في هذه المنطقة حوالي 20٪ من عدد البراكين.
3- حزام المحيط الأطلسي ويقع عليه 10٪ من عدد البراكين.

وتسبب البراكين في حالة حدوثها العديد من الآثار الضارة للأغلفة المختلفة التي تحيط بالقشرة الأرضية، ومن هذه التأثيرات ما يأتي:

1- تؤثر في الغلاف الحيوي بصورة عامة، وتحدث أضراراً على الحياة البشرية وعلى الكائنات الحية المختلفة.
2- تؤثر في الغلاف الصخري فتغير من تضاريس القشرة الأرضية، وبذلك فإن البراكين تعيد تشكيل سطح القشرة الأرضية.
3- تتسبب البراكين التي تحدث داخل البحار والمحيطات في تكوين الجزر البركانية التي تبرز في أعماقها.

6-2-2-3 أنواع البراكين

تتشكل البراكين بأشكال وحجوم مختلفة ويتوقف ذلك على طبيعة اللابة ونوعها وتركيبها المعدني، وأيضاً تبعاً لدرجة لزوجتها وانسيابيتها والذي يعود إلى نسبة السيليكا والغازات فيها، وقد علمت أن زيادة نسبة السيليكا تؤدي إلى زيادة لزوجة اللابة وقلة إنسيابيتها وقلة نسبة الغازات فيها، ويتشكل من نتيجة ذلك البراكين المخروطية، وإذا نقصت نسبة السيليكا المشكلة للابة زادت تبعاً لذلك نسبة الغازات فيها، وقلت لزوجة اللابة وزادت إنسيابيتها، ويتكون نتيجة لذلك براكين الدروع.

هذا وقد تعددت تصنيفات البراكين وأنواعها، وفيما يلي بعض أنواع البراكين الأكثر انتشاراً مصنفة حسب طبيعة اللابة التي تكونها:

1- البراكين المخروطية

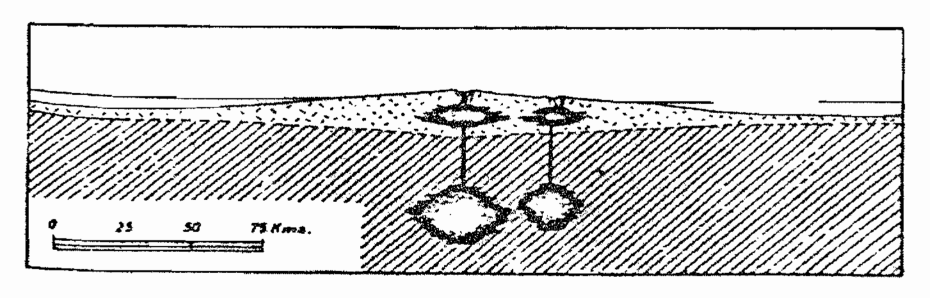
وتعرف أحياناً بالمخاريط، وهي الشكل المألوف العادي للبركان، وتتشكل هذه البراكين من مادة اللابة الحامضية ذات اللزوجة المرتفعة، فعند خروج اللابة من فوهة المخروط تنساب إلى مسافات ليست بعيدة عن الفوهة حيث تتصلب لتشكل قاعدة المخروط البركاني، وبعد ذلك تتراكم فوقها الانبعاثات البركانية اللاحقة، حيث يتكون مخروط ذو ميل ثابت تقريباً يقع في حدود (30) درجة، ويصل ارتفاعه إلى (300) متراً في معظم الأحيان، وقد يتجاوز ذلك إلى (450) متراً في بعض الأحيان.

وقد يؤدي تصلب اللابة إلى إغلاق فوهة البركان، ومن ثم يستمر النشاط البركاني مما يؤدي إلى زيادة الضغط على الفوهة حتى يكسرها وتندفع منه المواد البركانية، ومن أمثلتها بركان الجبل الأسود في نيكاراغوا، ويقع تحت هذا النوع من البراكين المخروطية ما يلي:

براكين كالديرا وبراكين القباب والبراكين المركزية.

2- البراكين الدرعية

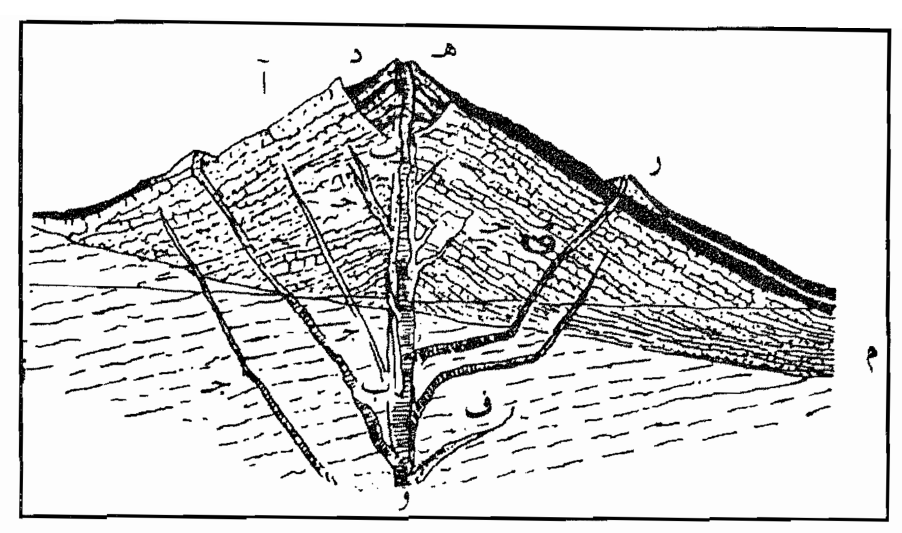
وتتكون نتيجة انتشار وخروج اللابة القاعدية (البازلتية) من الفوهات والصدوع البركانية خلال فترات زمنية طويلة نسبياً دون حدوث إنفجارات بركانية، وتنساب اللابة القاعدية قليلة اللزوجة إلى مسافات بعيدة عن فوهة البركان حيث تتصلب لتشكل جبالاً من الصخور البركانية الانسيابية ذات الإنحدارات القليلة، ولا يزيد عن بضع درجات، ومع مرور الزمن تزيد المسافة التي تحتلها الصخور البركانية، وتقع معظم هذه البراكين في الأحواض المحيطية على أطراف الشقوق والسلاسل الجبلية المغمورة في قاع المحيطات، ومن أمثلتها: براكين جزر هاواي والتي تتكون من عدة براكين درعية متلاحمة تطورت ونمت بسبب إنبعاث كميات كبيرة من اللابة خلال مدة زمنية لا تزيد عن مليون عام، أنظر الشكل (3-9).



الشكل (3-9) : بركان درعي

3- البراكين المركبة

تشكل البراكين المركبة مزيجاً من البراكين المخروطية والدرعية، وفي بدء الأمر تنتشر من الفوهات والصدوع البركانية لابة حامضية عالية اللزوجة وتتركب من مادة الأنديزيت أو الريوليت، وهذه لا تنتشر بعيداً بل تشكل جبالاً مخروطية الشكل ذات ميل كبير، أنظر الشكل (3-10). ومع مرور الزمن يطرأ تغير علي نوع اللابة حيث تتحول إلى قاعدية نتيجة إنبعاث كميات كبيرة من الغازات المضغوطة مثل بخار الماء والأمونيا وثاني أكسيد الكربون وكبريتد الهيدروجين، وأيضاً يرافقها كميات كبيرة من الرماد البركاني. ومن أمثلتها: بركان فوجي في اليابان وبركان فيزوف في إيطاليا، وتقع معظم البراكين المركبة النشيطة في المناطق القارية من العالم.



أ = المخروط الأساسي. وهو مكون من لابة ورماد بركاني انبثقت من (ب) وانتشرت أحياناً على هيئة قواطع (جـ).

ب = فوهة انفجار يتبع تكوينها بناء مخروط انبثاقي (هـ) تغذية القصبة (و) وبعض القواطع الثانوية التي تغذي مخاريط جانبية (ر).

ف = قواطع ثانوية.

م = رسوبيات بحرية متداخلة بلاية.

الشكل (3-10)(*) : بركان مركب

4- سهول اللابة

وينشأ هذا النوع من البراكين نتيجة لإنبعاث اللابة البازلتية القاعدية ذات اللزوجة القليلة من صدوع وتشققات طويلة تمتد مئات الأمتار أو أكثر، ومع مرور الزمن تنبعث اللابة بصورة مستمرة لتكون الصخور البازلتية، ومن أمثلتها سهول شمال شرق الأردن الممتدة إلى سوريا والسعودية.

وإضافة إلى الأنواع السابقة من البراكين هناك أنواع أخرى منها مثل براكين مخاريط التجمع وبراكين الوسائد وبراكين الشقوق.

(*) أساسيات علم الجيولوجيا : محمد يوسف حسن وزملاؤه.

3-3 الحركات الأرضية البيطيئة

وهذا النوع من الحركات الأرضية البطيئة تحدث في وقت طويل نسبياً، ويمكن مشاهدة نتائجها على المظاهر التي تظهر فيها صخور القشرة الأرضية.

3-3-1 التراكيب الجيولوجية

تشير التراكيب الجيولوجية إلى مظاهر الصخور على سطح القشرة الأرضية حيث تبرز على شكل طبقات وتراكيب مختلفة الأشكال، وفي بعض الحالات تدل التراكيب الجيولوجية على تغير الأشكال الأصلية للصخور، وهي من أكثر الشواهد الجيولوجية شيوعاً على حدوث حركات أرضية، كما هو معلوم فإن الأجسام الصلبة لا يمكن ان تتشوه، إلا في حالة تعرضها إلى قوى تسبب الحركة، وهذه تؤدي إلى تشويه الأشكال الأصلية لهذه الأجسام الصلبة، وتعتبر الصخور من الأجسام الصلبة التي قد تتعرض إلى تشويه نتيجة وقوع قوى عليها.

وأفضل أنواع الصخور التي يمكن دراسة التراكيب الجيولوجية عليها هي الصخور الرسوبية، فطبيعة تكوين هذه الصخور تسهل معرفة أشكالها الأصلية قبل حدوث أي تشوه عليها، فالصخور الرسوبية تتكون في الأصل على هيئة طبقات أفقية موازية لمستوى الترسيب الذي يوافق مستوى سطح الأرض أثناء تراكم الرسوبيات علي هذا السطح، فأي إنحراف عن الوضع الأفقي لهذه الطبقات يدل على حدوث حركات أرضية أثرت في الطبقات الرسوبية بعد ترسبها.

3-3-2 أنواع التراكيب الجيولوجية

يمكن تقسيم التراكيب الجيولوجية العامة في الصخور الرسوبية والناتجة عن الحركات الأرضية إلى أصناف متعددة، ونقتصر في هذا الفصل على دراسة الصنفين التاليين:

3-3-2-1 التراكيب الجيولوجية الأولية

وتشير إلى نوع التراكيب التي تنشأ عن تأثير العمليات الخارجية في الترسيب، وتتكون أثناء تكون الصخور نفسها، وهذه التراكيب لا تنتج عن

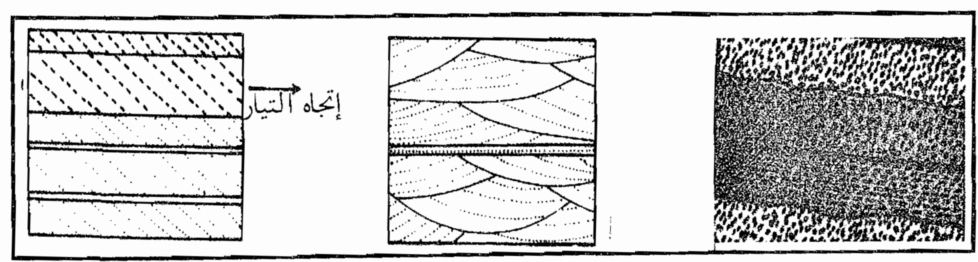
الحركات الأرضية الداخلية، وإنما تنتج عن تأثير التيارات المائية (بحرية أو نهريــة) أو الهوائية في عمليات الترسيب. وهناك علاقة كبيرة بين أنواع هذه التراكيب والوضـع الجغرافي لمكان الترسيب أثناء تراكم المواد الرسوبية، حيــث تشـاهد تراكيـب أوليـة مميزة خاصة بالمناطق القارية أو النهرية أو البحرية، ولهذه الـتراكيب الأوليـة أشـكال كثيرة، ومنها ما يلي:

1- التطبق:

يحدث التطبق نتيجة وقوع تغيرات رأسـية في المظـهر الصخـري لكثـير مـن الصخور الرسوبية، ويتراوح سمك الطبقـات بـين ملمـترات ومئـات الأمتـار، وهـذه الطبقات يمكن تمييزها بالعين المجردة.

ويطلق اسم الطبقة على جزء من الصخور الرسوبية محدد بمستويين متوازيـين (علوي وسفلي)، ويتراوح سمك هذا الجزء من الصخـور بـين سـنتمتر واحـد وعـدة أمتار. والتطبق أنواع متعددة ومنــها: التطبـق المتـدرج، والتطبـق الكـاذب، والتطبـق المتقطع، ويبين الشكل (3-11) بعض أنواع التطبق.

وفي بعض الحالات تتكون الصخور الرسوبية على شـكل طبقـات، وتتكـون كل طبقة منها من عدة طبقات على شكل رقائق مائلة متتالية، وتختلف هـذه الرقـائق في وضعها بالنسبة لمستويات التطبـق الأصليـة بـين الطبقـات، وتعـرف هـذه البنيـة بالتطبق الكاذب أو المتدرج.



التطبق المتدرج تكرار التدرج ثلاث مرات — تطبق كاذب عدسي الشكل — تطبق كاذب يشير إلى إتجاه التيار

الشكل (3-11): أنواع التطبق

2- الفواصل والشقوق في الرسوبيات الطينية

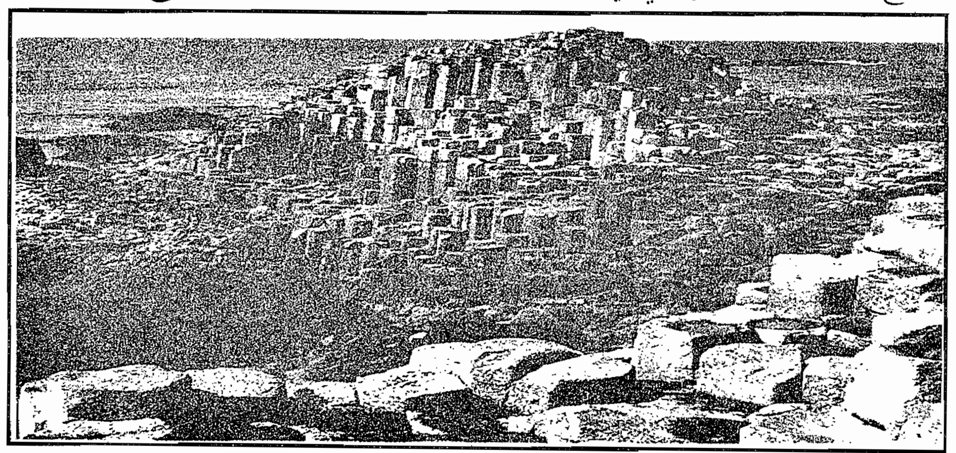
تحدث الفواصل في الرسوبيات الطينية، وتشاهد بعد إبتلال هذه الرسوبيات ثم تعرضها للهواء والجفاف، فينكمش سطح الرسوبيات مكونة شقوقاً مميزة.

ويحدث نوع من الفواصل نتيجة كسر عمودي على مستوى الطبقة دون ان يرافقه حدوث أية حركة نسبية، ويحدث الكسر نتيجة وقوع نوع من الضغط الجانبي علي الطبقة الصخرية الضعيفة مما يؤدي الي تشققها بحيث يكون مستوى التشقق موازياً للمستوى المحوري للفاصل.

وتختلف الفواصل في امتدادها واتساعها فتبدأ من شقوق يصعب تمييزها بالعين المجردة إلى كسور واسعة الامتداد، فيبلغ إمتدادها من بضعة سنتميرات إلى بضعة أمتار، وإن وجود مثل هذه التشققات في الصخور الرسوبية يؤدي الي سهولة إقتلاعها واستخدامها لأعمال البناء.

وتحدث الفواصل في بعض أنواع الصخور النارية مثل صخور البازلت نتيجة إنكماش الصخور بعد تصلبها وانخفاض درجات حرارتها، أنظر الشكل (3-12).

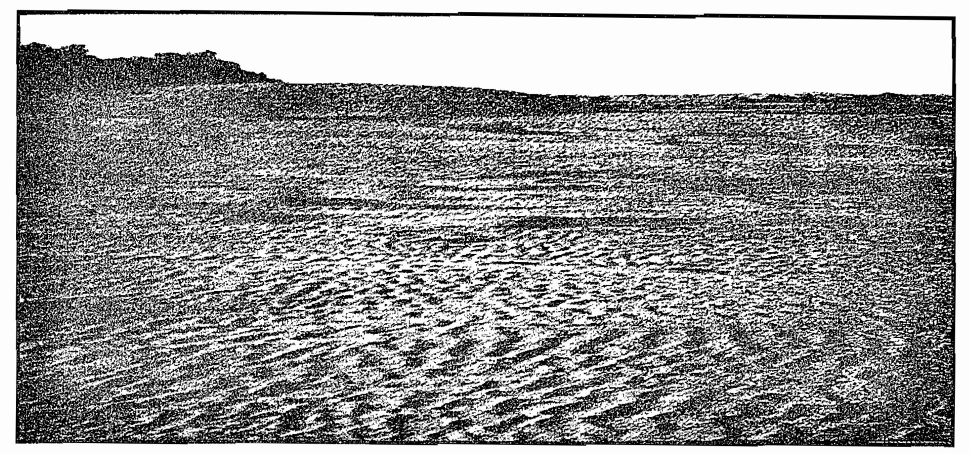
فالفواصل هي كسور أو شقوق تصيب الصخور دون ان يصحبها أي حركة أو إزاحة سواء كانت أفقية أو عمودية للكتل الصخرية على جانبي الفواصل، وأكثر المواقع حدوثاً للفواصل هي في الصخور السطحية أو القريبة من سطح الأرض.



الشكل (3-12) : الفواصل

3- علامات النيم:

وهي عبارة عن تموجات صغيرة لا تتجاوز السنتيمتر أحياناً وتتكون على سطح الرسوبيات مثل الرمال نتيجة لتأثير الرياح أو التيارات المائية، وتفيد دراسة علامات النيم في تحديد اتجاه الرياح أو التيارات الهوائية، ويدل وجودها في الرسوبيات المائية على كون المياه من النوع الضحل. أنظر الشكل (3-13).



الشكل (3-13) : علامات النيم في رمال الصحراء

♦ علم طبقات الصخور

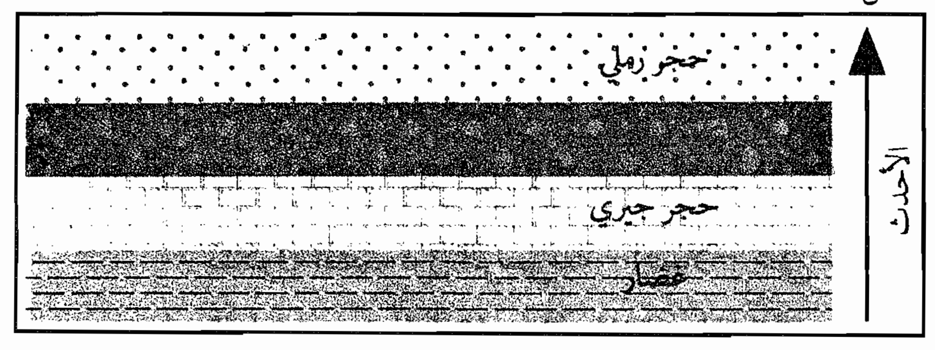
يختص علم طبقات الأرض بدراسة طبقات الصخور من حيث خصائصها وطبيعتها وترابطها وتتابعها خلال الزمن على نطاق ضيق وواسع، ويستند هذا العلم على دراسة الأحافير كوسيلة هامة تساعد على تحديد عمر الطبقات وتاريخ نشأتها وتعيين الترابط بينها، لذا فإن اهتماماته الأساسية هي في دراسة التتابعات الصخرية لحقب الحياة. وقد سبق لنا ان تناولنا مفهوم الجيولوجيا التاريخية في الفصل الأول من هذا الكتاب. وهذا العلم يحمل معنى مشابهاً لعلم طبقات الصخور، لكن للجيولوجيا التاريخية تطبيقات أكثر اتساعاً وتتعامل مع مجموعة كاملة من الأحداث التي تمت في تاريخ كوكبنا الأرضي.

ومن ضمن ما يتناوله علم طبقات الصخور هو دراسة التكوينات الصخرية، فالتكوين هو مجموعة من الطبقات لها صفات مشتركة من حيث خواص الصخور

التي تتكون منها وتركيبها المعدني وحتى لونها ولها امتـدادات تحـت سـطح القشـرة الأرضية.ولرسم خريطة للتكوين نحتاج الي متابعة الـبروزات الصخريـة فيـه، وأيضـاً تعيين الارتباط بين التكوين والوحدات الصخرية الأخرى ذات العلاقة به، ويتطلب الأمر كذلك الاستعانة ببعض القوانين من ميدان علم طبقات الصخور مثل قـانون الطبقات، وقانون تعاقب المجموعات الحيوانية والنباتية، فما هي هـذه القوانـين؟ ومـا أهميتها في دراسة التتابعات الصخرية على سطح القشرة الأرضية؟

1- قانون (مبدأ) تعاقب الطبقات

وينص هذا القانون على ما يلي: تظهر الصخور الرسوبية على شكل طبقات تكون سطوحها عادة متوازية وأفقية. وتتعاقب هذه الطبقات الواحـدة فـوق الأخـرى بحيث تكون الطبقة السفلى هي الأقدم في العمر والطبقة العليا هي الأحدث، أنظـر الشكل (3-14).



الشكل (3-14) : طبقات الصخور الرسوبية

ولقد أرسى هذا القـانون العـالم المسـلم ابـن سـينا، وأشـار إلى ان الطبقـات الرسوبية تترسب عادة بوضع أفقي تقريباً، ولذا إذا لاحظنا صخوراً مائلـة أو مطويـة فإن هذا يعني أنها قد تأثرت بحركات أرضية بعد ترسبها.

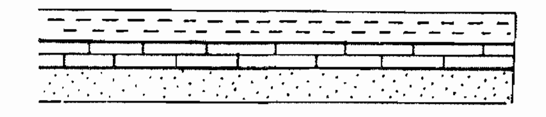
وفي حال تأثر الطبقات الرسوبية بحركات أرضية رافعة فإنها تسـبب انقطاعـاً في الترسيب، وتؤدي إلى تكوين انثناءات في الطبقات القديمة.

وإذا حدث وأن سمحت الظروف بإعادة الترسيب مرة ثانية فوق الطبقات القديمة التي تعرضت للحركات الأرضية، فإنه يتكون بين مجموعة الطبقـات القديمـة (والـتي

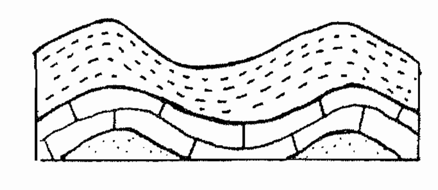
ترسبت قبل حدوث الحركات الأرضيــة) والطبقـات الحديثـة (والـتي ترسـبت بعـد حدوث الحركات الأرضية) سطحاً من عدم التوافق كما يبين ذلك الشكل (3-15).

سؤال: حاول ان تفسر كيفية تكون سطح عدم التوافق؟

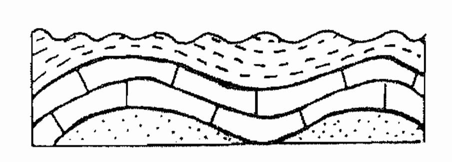
أ- ترسيب طبقات أفقية



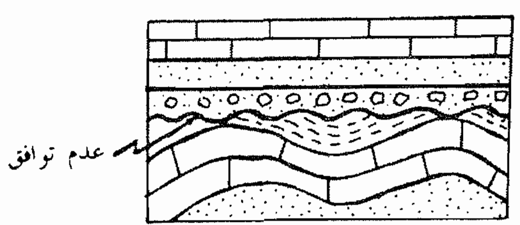
ب- حدوث حركات أرضية رافعة مسببة فى حدوث تغيير فى الوضع الأفقى للطبقات .



جـ- تؤدى عوامل التعرية الى تآكل الأجزاء المرتفعة من الطبقات القديمة .



د- حدوث انخفاض فى سطح الأرض واعادة ترسيب تكوين سطح من عدم التوافق



الشكل (3-15)(*) : ظاهرة عدم التوافق

2- قانون عدم التوافق في الطبقات

وينص على ما يلــي: عـدم التوافـق هـو سـطح يفصـل بـين مجموعتـين مـن

(*) أساسيات علم الجيولوجيا: محمد يوسف حسن وزملاؤه.

الصخور إحداهما قديمة والأخرى أحدث منها، ويوضح هذا السطح حدوث تعرية أو إنقطاع في الترسيب ويمثل فترة زمنية ضائعة بين المجموعتين من الصخور.

3- مبدأ (قانون) النسقية

وقد وضع هذا المبدأ العالم جيمس هتن، ومبدأ النسقية هو نفسه مبدأ الوتيرة الواحدة، وينص على ان الحاضر هو مفتاح الماضي، ويعني هذا ان العوامل الجيولوجية المختلفة التي تؤثر في الوقت الحالي على تشكيل القشرة الأرضية هي نفسها التي شكلت سطحها في الأزمنة الماضية.

4- قانون تعاقب المجموعات الحيوانية والنباتية (مبدأ تتابع الحياة):

إن العالم الانلجيزي وليم سميث هو أول من أشار إلى هذا القانون، وينص القانون على ما يلي: إن كل طبقة أو مجموعة من طبقات الصخور الرسوبية تحتوي على أحافير لأنواع محددة من الحيوانات والنباتات تختلف عن تلك الأنواع الموجودة في الطبقات الأقدم أو الأحدث منها، ويستفاد من هذا القانون على أنه يمكننا من معرفة العمر النسبي لطبقات الصخور باستخدام الأحافير، ويمكننا كذلك المقارنة بين أعمار الصخور التي تحتوي على مجموعات متشابهة من الأحافير في مناطق متباعدة على سطح القشرة الأرضية.

3-3-2-2 التراكيب الجيولوجية الثانوية (التراكيب البنائية)

يقصد بالتراكيب الثانوية بأنها تراكيب تنتج من تأثير وقوع قوى متكافئة على التراكيب الجيولوجية الأولية والصخرية مما يؤدي إلى تشويهها.

والسؤال المطروح هو: ماذا يقصد بالقوى المتكافئة؟ وما هي أنواعها؟ يشير مصطلح القوى المتكافئة إلى تلك القوى التي تؤثر في الجسم الصلب أو الصخور، بحيث تكون متساوية في قيمتها ومقدارها ولا تؤدي إلى تحريك الجسم أو الصخر، وفي حالة وقوع القوى المتكافئة على الصخور يحدث تشوه فيها.

وأما أنواع القوى المتكافئة فهي ثلاثة كما يلي:

1- قوى الشد، قوى متكافئة تؤثر في الصخور في اتجاهين متضادين وينتج عن تأثير قوى الشد في الصخور نوع من التشوه، يعرف بالصدوع العادية.

$\overleftarrow{ق_2}$ ◀—— جسم صلب ——▶ $\overleftarrow{ق_1}$ ($\overleftarrow{ق_1}$ = $\overleftarrow{ق_2}$)

2- قوى الضغط: قوى متكافئة تؤثر في الصخور في اتجاهين متقابلين، وينتج عن تأثير قوى الضغط ظاهرتا الطيات والصدوع المقلوبة.

$\overleftarrow{ق_2}$ ——▶ صخر ◀—— $\overleftarrow{ق_1}$ ($\overleftarrow{ق_1}$ = $\overleftarrow{ق_2}$)

3- قوى الازدواج: قوى متكافئة تقع على الصخور في عدة اتجاهات وينتج عنها تشوه بالصخر يعرف باللّي ولا تؤدي إلى تراكيب جيولوجية جديدة.

وتسمى الحالة عندما تقع قوى متكافئة على الصخور بحالة الإجهاد أو الجهد، وينتج عن الإجهاد تشوه بالصخور نتيجة انفعال هذه الصخور، ويعرف الجهد أو الإجهاد بأنه مقدار القوة الواقعة على وحدة المساحات أي أن:

$$\text{الإجهاد} = \frac{\text{مجموع القوى الواقعة على الجسم}}{\text{مساحة سطوح الجسم التي تؤثر فيها القوى}}$$

ونتيجة للإجهاد الواقع على الصخور فإنها تمر بحالات ثلاث، وهي كما يلي:

1- حالة التشوه المرن (الإنفعال المرن)

يحدث عندما تغير القوى من شكل الصخور آنياً أثناء تأثيرها وتعود الصخور إلى حالتها الأولى عند زوال القوى المؤثرة، ولا يرافق هذه الحالة أي تركيب جيولوجي جديد، ومن أمثلة هذه الحالة هو حالة الضغط على قطعة من الإسفنج، فإنها تغير من شكلها مع وجود القوى المسببة للضغط ثم تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال القوة عنها. ويشبه هذه الحالة أيضاً سحب الزمبرك الفولاذي أو الضغط عليه.

2- حالة التشوه اللدن (الإنفعال اللدن)

عندما تؤثر القوة في الصخور فإنها تغير من شكلها وتؤدي إلى حدوث تراكيب جيولوجية جديدة، وتبقى هذه التراكيب كذلك بغياب أو بزوال القوى

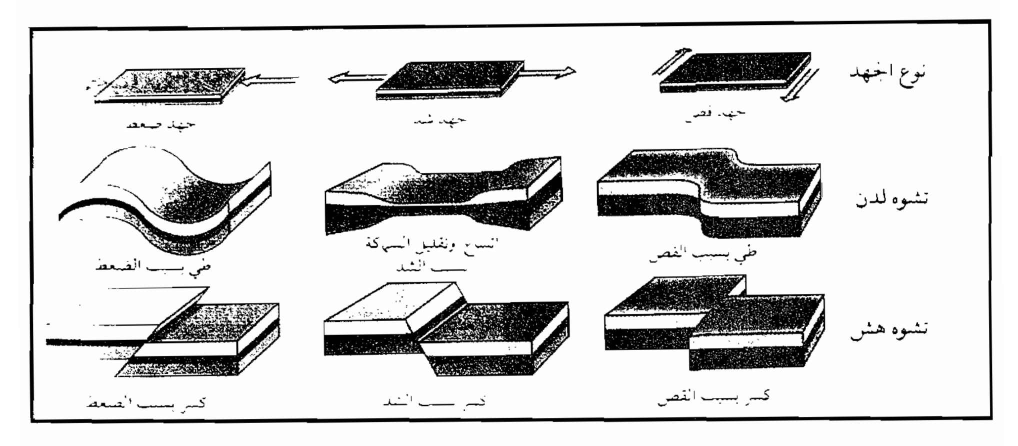
المؤثرة، وهذه التراكيب الجديدة هي تراكيب ثانوية (بنائية) ومن الأمثلة عليها، هي الطيات.

3- حالة التشوه بالكسر

يحدث عندما يكون تأثير القوى كبيراً وعلى نحو لا تتحرك الصخور فتتشوه بالكسر، ويرافق ذلك حدوث تراكيب جيولوجية جديدة هي الصدوع (الفوالق).

وسنتناول فيما يلي شرح الطيات والصدوع (الفوالق).

نشاط(*): عرف كل نوع من أنواع التشوهات التي تشاهد في الشكل التالي:



1- الطيات

هي تركيب من التراكيب الثانوية (البنائية) برزت نتيجة الإجهاد الذي وقع على الصخور وأدى إلى إحداث تشوه لدن فيها.

وتعرف الطيات: بأنها تموجات في صخور القشرة الأرضية، تتكون عندما تتعرض الصخور الرسوبية والصخور المتحولة إلى قوى ضغط أو قوى رأسية، فتنثني أو تتجعد مما يؤدي إلى تكوين بنيات وتراكيب جيولوجية مطوية أو ملتوية أو مجعدة، وقد تكون الطيات ذات تموجات ضعيفة ميكروسكوبية أو قد يبلغ مداها عشرات الكيلومترات طولاً وعرضاً مكونة سلاسل جبال ضخمة مثل جبال الألب وهمالايا وأطلس، وتسمى قمم الجبال محدبات وأما أسفلها فيسمى مقعرات.

(*) علوم الأرض والبيئة للصف الثاني الثانوي العلمي. المديرية العامة للمناهج.

أقسام الطية

تتكون الطية من المكونات التالية كما يوضحها الشكل (3-16):

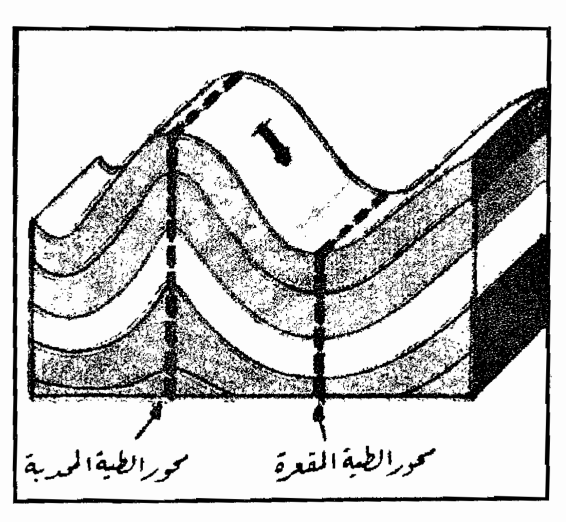
1- مستوى محور الطية، وهي مستوى وهمي يقسم الطية إلى قسمين متماثلين أو غير متماثلين.

2- محور الطية، خط وهمي يتكون من تقاطع أي طبقة من الطبقات المكونة للطية مع مستوى المحور.

3- جناح الطية، ويقصد به جانب الطية ويمتد من مستوى محور الطية الأولى إلى مستوى محور الطية المجاورة.

4- قمة الطية: وهي أعلى نقطة في الطية المحدبة.

5- قاع الطية: وهو أدنى منسوب الطية المقعرة أو الطية المتجهة إلى الأسفل.



الشكل (3-16): يوضح أقسام الطية

- **أنواع الطيات**

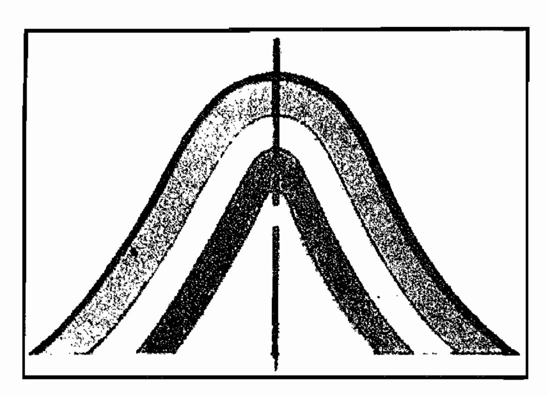
للطيات أنواع وأشكال متعددة وكثيرة، نشرح منها ما يلي:

1- الطية المتماثلة

هي طية يميل جناحاها بنفس المقدار ويكون فيها المستوى المحوري متعامد مع

المستوى الرأسي للطية، وتنشأ هذه الطية نتيجة الضغط المتماثل على جانبها، وهـــي إما ان تكون طيات محدبة أو طيات مقعرة.

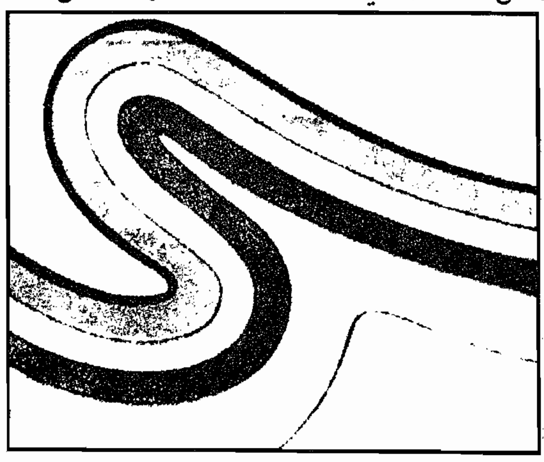
فالطية المحدبة هي طية متقوسة إلى الأعلى وتحوي الصخور الأقدم في وســطها، وأما الطية المقعرة فهي طية متقوسة إلى الأسفل وتحوي الصخور الأحدث في وسطها، أنظر الشكل (3-17).



الشكل (3-17) : رسم مجسم يوضح طية متماثلة

2- الطية المقلوبة

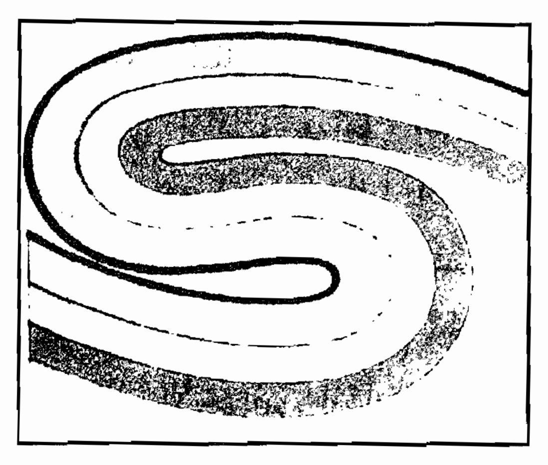
وهي طية زاد فيها الضغط على جناحيها بحيث أصبح ميـل الطبقـات فيـها في نفس اتجاه المحور، وميل الجناحين في الاتجاه نفسه، انظر الشكل (3-18).



الشكل (3-18) : طية مقلوبة

3- الطية المضطجعة

ويكون فيها المستوى المحوري أفقياً، ويكون الجناحان، غالباً متوازيان واحد منـها فوق الآخر، ويدل هذا على حدوث ضغط هائل على التراكيب الجيولوجيـة الأوليـة التي نشأت منها الطية، انظر الشكل (3-19).



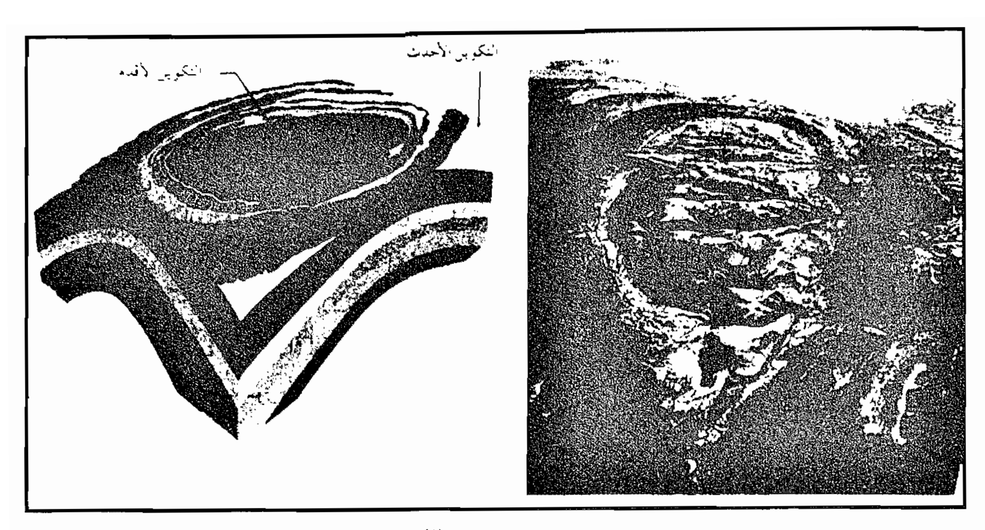
الشكل (3-19): طية مضطجعة

ويتراوح عادة حجم الطيات بين حجم التجعدات المجهرية أو عدة كيلومـترات أو مئات الكيلومترات أحياناً، ومنها ما يعرف بالقباب والأحواض.

وتوجد الطيات في أعماق القشرة الأرضية أو على سطحها، وفي حالة وجودها على سطح القشرة الأرضية فإنها تكون معرضة لعوامـل الحـت (التعريـة)، ولذلـك تتآكل قمة الطية اذا كانت محدبة وتحفظ الصخور الأقدم في وسـطها بـلا تـآكل، أمـا الطية المقعرة فتحفظ الصخور الأحدث في وسطها مـن التـآكل لأنـها غـير معرضـة للحت (التعرية).

- **القبة والحوض**

القبة وهي تركيب جيولوجي من نوع الطية المحدبة المتماثلة، وجميـع طبقاتـها تميل بالدرجة نفسها في جميع الاتجاهات، انظر الشكل (3-20).



الشكل (3-20)(*): القبة

وأما الحوض فهو عبارة عن طية مقعرة تشبه الوضع المقلوب للقبة.

وإذا تعرضت القباب والأحواض لعوامل التعرية فإنها تحت من أعلى ومن أسفل، وستظهر الطبقات المتكشفة لكل من القبة والحوض على شكل دائري أو إهليجي.

وبصورة عامة يصعب التعرف على الطيات بكافة أنواعها، كما توجد في القشرة الأرضية، ويعود سبب ذلك إلى تآكل أجزاء منها نتيجة الحت (التعرية)، وأحياناً تكون مدفونة في سطح القشرة الأرضية.

وتشكل الطيات مراكز اهتمام في ميدان الجيولوجيا، ويعود سبب ذلك إلى أهميتها الاقتصادية والتي تتمثل بتجمع بعض عناصر الثروة الطبيعية حولها، فعلى سبيل المثال تعتبر الطيات المحدبة والقباب أماكن لتجمع النفط فيها، وأما الأحواض والمقعرات فهي أماكن تجمع الماء الجوفي وترسب الفوسفات حولها.

- **قباب الملح**

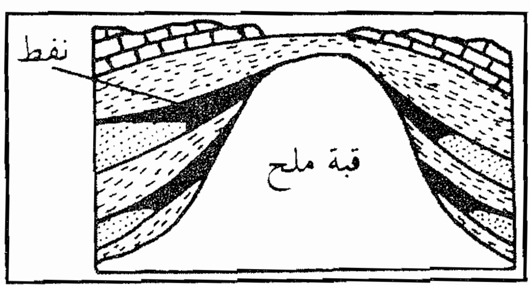
لقد سبق أن عرفت أن الطبقات الأرضية قد تتعرض إلى الثني في بعض

(*) علوم الأرض والبيئة - الصف الثاني الثانوي.

الأحيان، فإذا انثنت إلى الأعلى بحيث مالت في جميع الاتجاهات من نقطة مركزية فإن الطية تسمى عندئذ قبة، أما إذا إنثنت الطبقات نحو الأسفل من نقطة مركزية تسمى عندئذ حوضاً.

ويوجد أنواع خاصة من القباب تتكون نتيجة صعود كتل هائلة من الملح مدفونة في أعماق الأرض إلى قرب سطح القشرة الأرضية، وتسمى هذه بقباب الملح، وهذه التراكيب تنتشر كثيراً بالطبيعة لأن الملح يكون لدناً جداً حينما يوجد تحت ضغط عال، وعندها يمكن ان يتشكل مثل العجين وأن يخترق الصخور.

وتكون قباب الملح أحياناً مصايد للنفط حيث يتراكم حولها، ومن أشهر قباب النفط من هذا النوع هي: حقول النفط في وسط إيران والخليج العربي، أنظر الشكل (3-21).

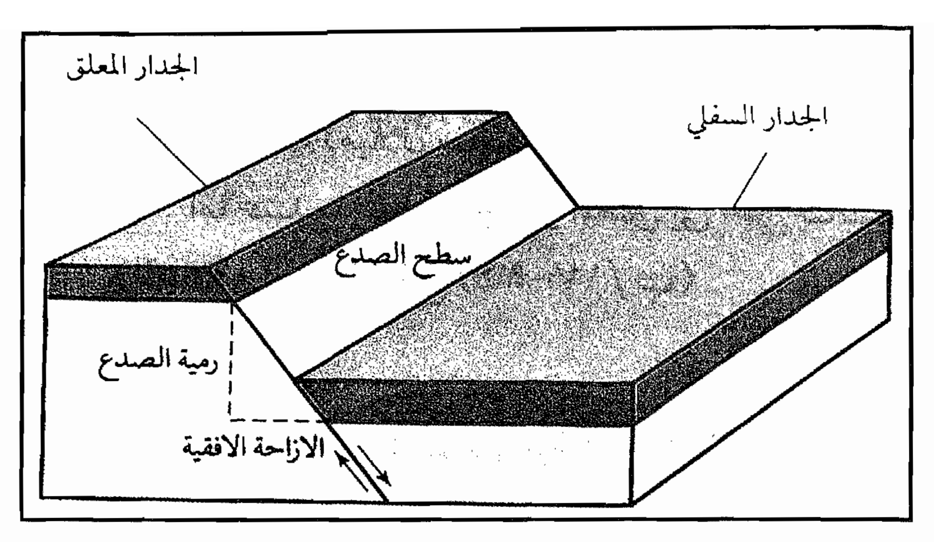


الشكل (3-21) : قبة ملح تكون مصيدة نفط

2- الصدوع

تتعرض الصخور والتراكيب الجيولوجية أحياناً إلى جهود معينة كبيرة بحيث لا تستطيع فيه هذه التراكيب الاستمرار في التحدب والتقعر، فلذلك فإنها تتشوه بالكسر الذي تنتج عنه الصدوع، فالصدع كسر في الصخر يقسمه الي كتلتين، ويشترط حدوث حركة لإحداهما أو كلاهما، وتحدث هذه الحركة على طول سطح الصدع، وقد تكون هذه الحركة أفقية أو عمودية أو الحالتين معاً.

ويتشكل الصدع من عدة أجزاء يمكن ملاحظتها في الشكل (3-22)، وهذه الأجزاء هي كما يلي:



الشكل (3-22) : أجزاء الصدع

سطح الصدع، وهو الكسر الذي يحدث عليه الإنزلاق، وقد يكون هذا السطح إما رأسياً أو مائلاً، وقد يظهر سطح الصدع على سطح الأرض اذا كانت الحركة عمودية على سطح الصدع، أو يكون مستوى سطح الصدع متقاطعاً مع سطح الأرض إذا كانت الحركة على سطح الصدع أفقية.

2- ميل الصدع: وهي الزاوية المحصورة بين سطح الصدع مع المستوى الأفقي.

3- رمية الصدع: وهي الإزاحة العمودية بين طرفي الطبقات المتناظرة على جانبي الصدع.

4- الإزاحة الجانبية: وهي مقدار الإزاحة الأفقية في وضع الطبقات المتناظرة أو هي المسافة التي تحركتها الكتل على سطح الصدع.

◆ **أنواع الصدوع**

يشاهد في الطبيعة عدة أنواع من الصدوع، يمكن تصنيفها وفقاً لاتجاه حركة الكتلتين على سطح الصدع، فإذا كانت الحركة مائلة تسمى بالصدوع المائلة، وأما اذا كانت الحركة عمودية تسمى بالصدوع العمودية، أي ان زاوية ميل الصدع تكون 90°.

وسنتناول فيما يلي شرح بعض أنواع الصدوع المعروفة:

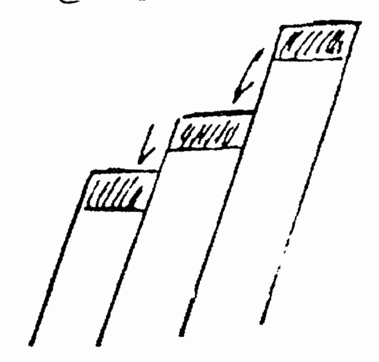
1- الصدع العمودي

وهو صدع يتحرك فيه الجدار المعلق إلى أسفل بالنسبة للجدار السفلي، وتكون زاوية ميله حوالي (60) درجة ومن أنواع الصدوع العمودية ما يلي:

أ- الصدع الحوضي: ينشأ هذا النوع نتيجة هبوط جزء من القشرة الأرضية بين صدعين عموديين أو أكثر متوازيين ومتعاكسين في اتجاه الميل.

ب- الصدع المتهضب: وينشأ هذا النوع من الصدوع العمودية نتيجة ارتفاع جزء من القشرة الأرضية بين صدعين عموديين أو أكثر متوازيين ومتعاكسين في اتجاه الميل.

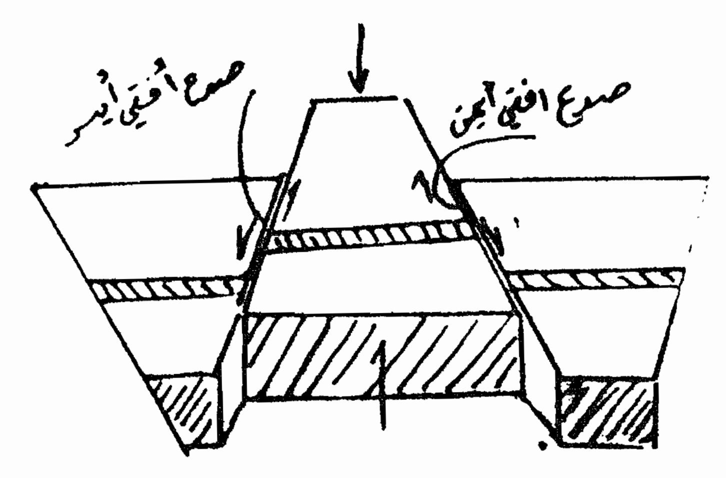
جـ- الصدع المتسلسل أو المتدرج: وهي مجموعة من الصدوع العمودية المتوازية تنشأ نتيجة حدوث هبوط بصورة متوالية لسطح القشرة الأرضية، ويكون هذا الهبوط باتجاه واحد، وتظهر الطبقات فيها على شكل متدرج، انظر الشكل (3-23).



الشكل (3-23) :الصدوع العمودية

2- الصدع الأفقي

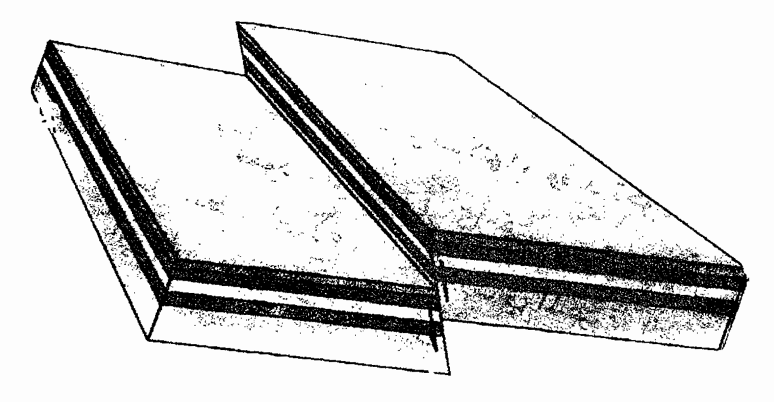
وهو نوع من الصدوع يكون فيه مستوى الصدع عمودياً، وتتحرك فيه الطبقات الأرضية والصخور على امتداده باتجاه موازٍ لها. وعليه فلا تحدث حركة رأسية للطبقات والصخور على جانبيه وإنما يحدث تحرك أفقي، أنظر الشكل (3-24)، ويلاحظ فيه صدع أفقي أيسر وآخر صدع أفقي أيمن.



الشكل (3-24) : صدع أفقي

3- الصدع الزاحف والصدع عكسي:

الصدع الزاحف: هو صدع مائل تحرك فيه الجدار المعلق إلى أعلى بالنسبة للجدار السفلي وتكون زاوية ميله بين أقل من (45) درجة و (30) درجة، وأما الصدع عكسي: فهو صدع مائل تحرك فيه الجدار المعلق إلى أعلى بالنسبة للجدار الأسفل، وتكون زاوية ميله (45) درجة، انظر الشكل (3-25).



الشكل (3-25) : صدع عكسي

وللصدوع أهمية اقتصادية حيث تعتبر مكائن تنحبس فيها كميات من البترول (مصائد البترول)، وكذلك تعتبر الصدوع مسارات للمحاليل المعدنية مثل معادن الكالسيت وخامات المنغنيز وغيرها.

3-4 أسئلة الفصل الثالث:

1- عرف ما يلي: البركان، الزلزال، الطية، الصدع، القبة، الحوض، الفاصل، القوى المتكافئة، التشوه اللدن، الإجهاد، الحركات الأرضية البطيئة، التراكيب الجيولوجية الأولية، التراكيب الجيولوجية الثانوية، شدة الزلزال، قوة الزلزال، الموجات الزلزالية السطحية، السيسموغرام، التطبق، قانون النسقية.

2- ما هي أسباب حدوث ما يأتي:

أ- البركان.

ب- الزلزال.

جـ- التراكيب الجيولوجية الثانوية.

د- قبة الملح.

هـ- الصدع.

و- الفاصل.

ز- الطية.

ح- سطح عدم التوافق.

3- فسر ما يلي:

أ- تحدث براكين مخروطية في الطبيعة.

ب- تتكون براكين درعية في الطبيعة.

جـ- يرافق الزلزال حدوث أضرار ودمار على سطح الأرض.

د- تحدث زلازل تكتونية.

هـ- إن دراسة النواتج البركانية هامة للجيولوجي.

و- يتفاءل الباحث خيراً عند توقع وجود قبة ملحية.

ز- يلتقط الراصد الزلزالي الموجات الابتدائية (أ) أولاً.

ح- نحتاج إلى ثلاث محطات رصد زلازل لتحديد موقع بؤرة زلزالية عميقة.

ط- يرافق حدوث البركان أصوات إنفجارات وسقوط مطر.

ي- إن مناطق حدوث البراكين هي نفسها مناطق البؤر الزلزالية.

4- ارسم سيزموغراف الموجات المستعرضة، إشرح مبدأ عمله.

5- تنتشر البراكين والزلازل في ثلاث مناطق رئيسية في العالم اذكر هذه المناطق، لماذا تحدث في هذه المناطق دون غيرها؟

6- ارسم ما يلي:

أ- مقطعاً في زلزال.

ب- مقطعاً في بركان مخروطي.

جـ- مقطعاً في طية مضطجعة.

د- صدعاً عادياً.

هـ- قبة الملح.

7- كيف تفسر حدوث تشابه بالأحافير في المناطق اليابسة الواقعة على جانبي المحيط الأطلسي.

8- لماذا يفضل الجيولوجي دراسة الصخور الرسوبية لمتابعة حدوث تغيـيرات علـى سطح القشرة الأرضية؟

9- اذكر فرقين بين كل فكرتين مما يأتي:

أ- الصدع والطية.

ب- التشوه المرن والتشوه اللدن.

جـ- قوى الضغط وقوى الازدواج.

د- سيزموغرام الموجات الطولية وسيزموغرام الموجات المستعرضة.

هـ- الزلازل التكتونية والزلازل البركانية.

و- البركان الدرعي والبركان المركب.

ز- الموجة الطولية والموجة المستعرضة.

ح- الحركات الأرضية السريعة والبطيئة.

ط- الطية المحدبة والمقعرة.

ي- الفاصل وعلامات النيم.

11- كيف يمكن تحديد موقع بؤرة زلزالية؟

12- أكتب ما تعرفه عن:

أ- الطفوح البركانية.

ب- الرماد البركاني.

جـ- الماجما.

13- ابن سينا من أوائل الجيولوجيين العرب، وضع ذلك.

14- كيف تحدث ظاهرة التطبق على سطح القشرة الأرضية؟

15- ما هي أنواع اللابة؟

16- ما هي أنواع الموجات الزلزالية، صف كل منها؟

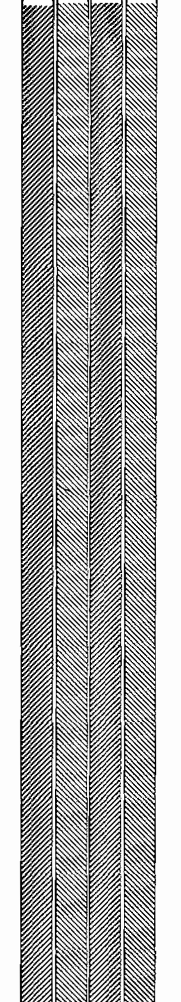
17- ارسم سيزموغراف الموجات الطولية، كيف يعمل؟

18- كيف يستطيع علماء الجيولوجيا الكشف عن شدة الزلازل باستخدام مقياس ريختر؟

19- كيف نتنبأ بحدوث زلزال؟

20- ما أنواع القوى المتكافئة التي تصيب صخور القشرة الأرضية؟ ما هي الظواهر الجيولوجية التي تنشأ عنها؟

الفصل
الرابع



العمليات الخارجية التي تؤثر في سطح القشرة الأرضية

يتناول هذا الفصل بالدراسة التفصيلية العمليات الخارجية المؤثرة في سطح القشرة الخارجية والتي تؤدي إلى إحداث تغييرات مستمرة فيه مثل الرياح والأمطار والجليديات والتجوية والحت. ويأخذ لتفسير حدوث التغييرات بآليات خاصة بكل عملية من هذه العمليات. ويعرض أيضاً إلى توضيح بعض المفاهيم في هذا السياق مثل التجوية والحت (التعرية)، والجليدية وثلاجة عصر البلاستيوسين.

4

العمليات الخارجية التي تؤثر في سطح القشرة الأرضية

4-1 المقدمة

يعاني سطح القشرة الأرضية من تغييرات بصورة مستمرة، ويعزى سببها إلى الطاقة التي مصدرها في معظم الأحيان هو الشمس، إضافة إلى مصدر داخلي للطاقة من باطن الأرض. فالطاقة الشمسية تحرك عوامل الهدم والبناء على سطح الأرض، وهي منشأ جميع أنواع الحركات في الغلافين الجوي والمائي للأرض. كما أنها أصل الطاقة المخزونة في باطن الأرض. وقد علمت سابقاً أن هناك عمليات داخلية تنشأ في باطن الأرض، وينشط هذه العمليات الداخلية الطاقة المنبعثة من باطن الأرض، وهذه العمليات تعمل على إعادة بناء تضاريس سطح القشرة الأرضية. وأما العمليات الخارجية فتقوم بهدم تضاريس القشرة الأرضية، وهذه العمليات الخارجية يمكن دراستها عن طريق المشاهدة (الملاحظة) المباشرة.

وقد وضع العالم جيمس هتن فرضية الوتيرة الواحدة (مبدأ النسقية)، التي تصف وتفسر الكثير من المشاهدات الجيولوجية والموضحة لأثر العمليات الخارجية على سطح الأرض، وتعمل في الوقت نفسه على تفسير المكونات والتراكيب المميزة للقشرة الأرضية التي نشأت في الماضي والحاضر.

ويرى حسن وزملاؤه (1990) أن هناك علاقة وثيقة بين دراسة العمليات الخارجية ودراسة عمليات الترسيب وتكوين الصخور الرسوبية، إذ أن هذه الصخور الرسوبية تنشأ فوق سطح القشرة الأرضية وهي من أهم نتائج العمليات الخارجية، ويستفاد من نتائج دراسة العمليات الخارجية في ميدان الجيولوجيا تفسير

الصفات المميزة للصخورة الرسوبية وهذه بدورهـا تفيـد في اسـتنتاج تـاريخ تطـور سطح القشرة الأرضية وساهم ذلك في نمو فرع هام من فـروع الجيولوجيـا هـو علـم الجيولوجيا التأريخية.

ويقصد بالعمليات الخارجية تلك العمليات التي تؤدي إلى تفتيـت الصخـور المكونة لسطح القشرة الأرضية ثم نقـل الفتـات مـن المنـاطق المرتفعـة لترسـيبه في المناطق المنخفضة من سطح الأرض. وتشتمل العمليات الخارجية على عدة عمليـات ومنها التجوية وتنتج من تأثـير الغلافـين الجـوي والمـائي علـى الصخـور، والحـت ويقصد بها إزالة الفتات الصخري ومخلفات التجوية بواسطة عوامل النقل المتعـددة مثل التيارات الهوائية والمائية، وتنتهي دورة العمليات الخارجية بعملية الترسـيب أي وصول الرسوبيات إلى الأحـواض الترسـيبية. وسـيتناول الفصـل الرابـع بالدراسـة العمليات الخارجية المؤثرة في سطح القشرة الأرضية.

4-2 التجوية

4-2-1 التجوية والتعرية

يقصد بالتجوية العملية التي يتم فيـها تفتـت وتحلـل الصخـور علـي سـطح الأرض أو بقرب هذا السطح بواسطة العوامل الجوية السـائدة في الغلافـين الجـوي والمائي المؤثرة في منطقة ما. ويتضح لنا من التعريـف السـابق أن للظـروف المناخيـة تأثيراً كبيراً في تجوية الصخور، وأن الغلاف الجوي يعمل على تفتيت وتحليل صخور القشرة الأرضية في مواقعها بدون نقل أو قد تنقل لمسافات قليلة ويحدث بذلك تغير ملحوظ في الصخر.

وأما التعرية (الحت) فهي مجموعة العمليات التي يؤثر فيـها الغلافـان الجـوي والمائي تأثيراً أساسياً في تفتيت الصخور ثـم نقـل الفتـات وترسـيبه علـى أسـطح جديدة من الصخر سواء كانت قارية أو بحرية (محيطية).

ولا بدّ أن تتوضح لنا علاقة التجوية والتعرية بعملية الترسيب، التي تقود إلى تشكيل الصخور الرسـوبية علـى سـطح القشـرة الأرضيـة. فالتجويـة هـي تفتـت

الصخور وتحللها نتيجة لعوامل المناخ دون تدخل عوامل النقل مثل التيارات المائية والهوائية، بينما تتم عملية التعرية (الحت) بفعل تأثير بعض العوامل كالماء والرياح التي تعمل علي تفتيت الصخور وتآكلها ثم تعمل التيارات المائية والهوائية على نقل الفتات إلى الأحواض الترسيبية وينتج عن ذلك فيما بعد الصخور الرسوبية.

4-2-2 أنواع التجوية

تحدث عملية تحلل الصخور بفعل العوامل والظروف المختلفة التي يحدثها الغلافان المائي والهوائي (الجوي)، وتتم عملية تحلل وتفتت الصخور وفق نوعين للتجوية وهما التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية، ومن أهم نواتج تجوية الصخور تحت تأثير العوامل المناخية والطبيعية هو تشكل التربة الزراعية.

4-2-2-1 التجوية الميكانيكية

يقصد بالتجوية الميكانيكية بأنها عملية تفتت وتفكك للصخور بصورة طبيعية ثم تحولها إلى حطام وقطع صغيرة دون تغيير في تركيبها الكيميائي، أي وبكلمات أخرى، إن المحتوى المعدني والتركيب الكيميائي لمادة الفتات والحطام يبقى على نفس الحالة التي كان عليها في الصخر الأصلي (الأساسي أو الأم). ويزداد حدوث هذا النوع من التجوية الميكانيكية في المناطق شديدة الجفاف والبرودة. وكما تحدث في المناطق التي تسود فيها عملية التجوية الكيميائية، حيث تساعد التجوية الميكانيكية في الحالة الأخيرة على زيادة فعالية التجوية الكيميائية بما تحدثه التجوية الميكانيكية من تفتيت للصخور وبالتالي زيادة المساحة الكلية للأسطح المعرضة للتأثير الكيميائي. ويعزى ذلك إلى مساحات السطوح الخارجية للفتات الصخري التي تزيد من مساحات السطوح الخارجية للصخر الأصلي وبذلك تزداد مساحة السطوح المعرضة للتفاعل الكيميائي. وهناك عوامل هامة تؤثر في عملية تفتت الصخور وعملية التجوية الميكانيكية ومن بعض هذه العوامل ما يلي:

1- اختلاف درجات الحرارة

إن اختلاف درجات الحرارة بين الليل والنهار يسبب في تمدد الصخور في

النهار وتقلصه في الليل ويقود هذا إلى إضعاف البنية الداخلية للصخر وبالتالي تكسره وتفتته. ويشاهد هذا العامل بوضوح في المناطق الصحراوية حيث يزداد الفارق بدرجات الحرارة بين النهار والليل حتى يصل أحياناً إلى حوالي 40° مئوية. ففي أثناء النهار تمتص الصخور الحرارة من الشمس وترتفع درجة حرارتها إلى درجة عالية، أما في الليل فتنخفض درجة الحرارة وتبرد السطوح الخارجية للصخور نتيجة للإشعاع من هذه السطوح بينما يبقى باطن الصخور ساخناً، ويقود هذا إلى تشقق القشرة الخارجية للصخور وتفتتها.

2- التجمد

يلعب تجمد الماء في الطبيعة دوراً هاماً في تفتت الصخور. ومن المعلوم أن الماء يتجمد عندما يصل إلى درجة الصفر المئوي أو دون هذه الدرجة ويصاحب ظاهرة تجمد الماء زيادة في حجمه بصورة فجائية قد تصل إلى حوالي 10٪ من حجم الماء الأصلي قبل التجمد مباشرة ويرافق هذا التجمد للماء قوة هائلة قد تصل الي أكثر من 20,000 نيوتن على السنتميتر المربع الواحد من سطح الصخر.

وعندما يسقط المطر فإن الماء يصل إلى الشقوق والفجوات والمسام في الصخور الموجودة على سطح القشرة الأرضية وعندما تنخفض درجة الحرارة وتصل إلى الصفر المئوي أو دون ذلك فإن هذا الماء يتجمد ويرافق ذلك تمدد فجائي نتيجة لزيادة حجمه ويحدث هذا ضغطاً عظيماً يؤدي إلى تكسر الصخر. ويعتبر تجمد الماء من عوامل التجوية الميكانيكية الهامة في المناطق الباردة.

3- التشبع بالماء والجفاف

عندما يصل الماء إلى الصخور فإنها تتشبع به، وتعمل أشعة الشمس على جفاف الصخور فيما بعد. وإن عملية التشبع والجفاف المتواصلة والمستمرة علي الصخور يؤدي إلى تفككه وتحطمه على صورة تراب أو فتات صخري، وتزداد ظاهرة التشبع والجفاف أكثر ما يمكن في الصخور الطينية لما لها من قدرة على امتصاص الماء بسبب طبيعة هذه الصخور وتركيبها المعدني.

4- قوة التبلور

توجد بعض المعادن في الصخور في حالة غير متبلورة (أنهيدرايت) ويعد ذلك بسبب عدم وجود الماء اللازم لتبلورها، وعندما يصل الماء من المصادر المختلفة في الطبيعة إلى معادن هذه الصخور فإنها تتبلور في حيز محدود داخل جسم الصخر، وينشأ عن عملية التبلور ضغط هائل على سطوح الصخور الداخلية مما يؤدي إلى تفتتها وتحطمها.

5- التأثير الميكانيكي للكائنات الحية

تعلب الحيوانات والنباتات دوراً كبيراً في تفتت الصخور، فالنباتات الراقية الجذرية ترسل جذورها إلى داخل الشقوق الموجودة في الصخور، وعندما تنمو الجذور داخل هذه الشقوق ينتج عن نموها قوة كبيرة تؤدي إلى فلق الصخور وتحطيمه، وكما تلعب الحيوانات الحفارة مثل الديدان والنمل دوراً في تفتت الصخور، فعندما تقوم بعمل مسالك أو ممرات لها داخل الصخور والتربة فإن سطوح هذه المسالك تتعرض لعوامل التجوية المختلفة.

2-2-2-4 التجوية الكيميائية

يقصد بالتجوية الكيميائية هي التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى التحلل الكيميائي وما يصلحبه من تغير في المحتويات المعدنية للصخور الأصلية وذلك نتيجة لتأثير بعض العوامل الطبيعية النشيطة، ولهذه العوامل دائماً صلة بالماء.

ومن أهم مكونات الغلاف الجوي من النواحي الجيولوجية هي العوامل التالية: الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. ويعتبر بخار الماء الجوي أهم هذه العوامل لما له من تأثير مباشرة في عمليتي التحلل المائي والتميه، وأيضاً لما له من تأثير غير مباشر لإتمام التفاعلات الكيميائية في عمليات الأكسدة، والتكربن (التفحم).

وتتأثر التجوية الكيميائية بدرجة الحرارة، فتزداد درجة التجوية الكيميائية مع ازدياد درجة الحرارة، وكما أن للرطوبة تأثير هام في زيادة درجة التجوية الكيميائية،

لأن وجود الماء ينشط حركة الأيونات وبالتالي تفاعلها بعضها إلى بعض، لذلك تزداد كفاءة التجوية الكيميائية في المناطق الدافئة الرطبة عنها في المناطق الباردة أو الجافة، وأما في المناطق ذات المناخ البارد أو الصحراوي فتكون التجوية الكيميائية بطيئة.

وهناك عدة تفاعلات أو عمليات كيميائية تؤدي إلى تحلل الصخور نتيجة للتجوية الكيميائية وهي كما يلي:

1- التميؤ (التميه)

التميؤ هو عملية اتحاد جزيئات الماء مع بعض جزيئات المعادن مكوناً ما يعرف بالمعادن المائية، فعلى سبيل المثال تتحول معادن السليكات ومعادن الأكاسيد إلى سيليكات أو أكاسيد مائية نتيجة عملية التميؤ، وما يحدث في حقيقة الأمر في عملية التميؤ هو إضافة جزيء أو عدة جزيئات من الماء إلى جزيئات المعدن الأنهيدراتي ليتحول إلى معدن متبلور. ومن الأمثلة المشهورة على عملية التميؤ هو تحول معدن الأنهيدريت ($CaSO_4$) إلى معدن الجبس المتبلور، ويمكن تمثيل عملية الأنهيدريت كما يلي:

$$CaSO_4 + 2\,H_2O \rightarrow CaSO_4 \,.\, 2H_2O$$

أنهيدريت   جبس

سؤال: قد يرافق عملية تميه الأنهيدريت حدوث تجوية ميكانيكية فسر ذلك؟

2- التحلل المائي

تتوافر أيونات الهيدروجين (H^+) في الماء عموماً نتيجة تفكك جزيئاته، وأيضاً نتيجة ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون في الماء يتكون حامض الكربونيك الذي يتفكك بدوره ليعطي أيون الهيدروجين كما في المعادلة التالية:

$$H_2O + CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3 \overset{\text{ماء}}{\rightleftarrows} H^+ + HCO_3^-$$

أيون بيكربونات   أيون الهيدروجين   حامض كربونيك

وأيون الهيدوجين (H^+) الناتج عن التفاعل يزيد تركيز أيونات الهيدروجين في الماء. ويقوم مبدأ التحلل المائي على أساس قدرة أيونات الهيدروجين (H^+) على

تحلل التركيب البلوري لمعادن السيليكات ثم تفتتها. ومن أشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي هو التجوية الكيميائية لمعادن الصخور النارية، وأهمها تحويل معدن الفلسبار البوتاسي إلى كاولين. والكاولين هو أحد المعادن الطينية المنتشرة في الطبيعة. وهذا المعدن الكاوليني متوافر بكثرة في معظم الصخور الطينية. ويمثل التحلل المائي لمعدن الفلسبار البوتاسي بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$2KAlSi_3O_8 \quad + 2H^+ \quad + H_2O \rightarrow \quad 2K^+ \quad + Al_2Si_2O_5(OH)_4 \quad + 4SiO_2$$

فلسبار بوتاسي أيون هيدروجين ماء أيونات البوتاسيوم معدن الكاوليس معدن سيليكا

(تربة كاولينية) (رمل)

وتنتشر أيونات البوتاسيوم (K^+) في الماء مكونة محلولاً وبالتالي تنتشر في التربة لتمتصها جذور النباتات ويكون غذاءً لها. إن تحلل معدن الفلسبار هو مثال للتحلل المائي للمعادن. وتحلل المايكا البيضاء ينتج عنه المواد نفسها التي نتجت من التحلل المائي للفلسبار البوتاسي، وسنتعرض إلى دراسة مزيد من الأمثلة على التحلل المائي لمعادن الصخور خلال دراستنا الصخور الرسوبية في الفصل السادس.

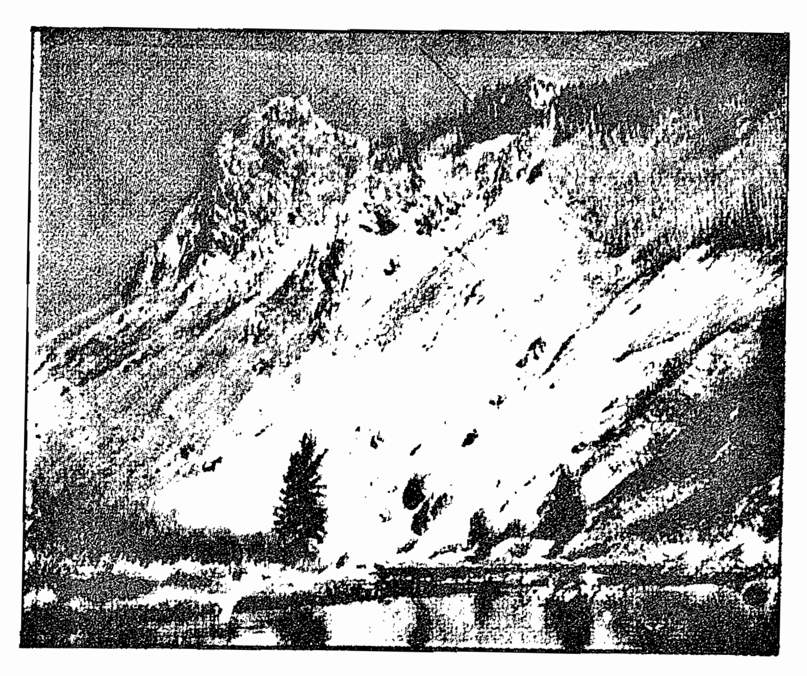
3- التأكسد

يعرّف التأكسد بأنه اتحاد الأكسجين مع المادة (سواء كانت عنصراً أو مركباً)، وتزداد سرعة تفاعلات التأكسد في الطبيعة بزيادة درجة حرارة الجو والرطوبة بالهواء، لذلك نجد أن تفاعلات تأكسد معادن الصخور المتوافرة في المناطق الاستوائية أكثر نشاطاً من غيرها من مناطق الكرة الأرضية. وينتج عن تفاعل التأكسد في المناطق الاستوائية أنواع من التربة تكثر هناك وهي تربة اللاتريت وتربة البوكسيت، وتمتاز الأولى بارتفاع نسبة أكاسيد الحديد ولذلك تميل إلى اللون الأحمر والبني. وأما الثانية فتمتاز بارتفاع نسبة أكاسيد الألمنيوم فلذلك يكون لونها أصفر أو أبيض. انظر الشكل (4-1).

ومن الأمثلة المعروفة على تفاعل التأكسد الطبيعي هو تأكسد معدن بيريت الحديد FeS_2 ويوجد بكثرة في الصخور. ويمكن تمثيل التفاعل بالمعادلة التالية:

$$FeS_2 + 2O_2 \rightarrow FeSO_4 + S$$

كبريت كبريتات الحديد II أكسجين بيريت الحديد



الشكل (4-1): يوضح أثر التأكسد على الصخور

4- التكريت (التفحم)

يتم تفاعل التكربن على مرحلتين. وفي المرحلة الأولى يتحد ثاني أكسيد الكربون الموجود في الطبيعة مع الماء وينتج عن ذلك حامض الكربونيك. وفي المرحلة الثانية يتفاعل حامض الكربونيك مع بعض المعادن مثل أكاسيد

وهيدروكسيدات وكربونات الكالسيوم والبوتاسيوم والماغنيسيوم ويتكون من هذه التفاعلات معادن جديدة هي كربونات المعادن أو بيكربوناتها.

ومن أمثلة التجوية الكيميائية بالتكربن (التفحم). هو تأثير حامض الكربونيك على الصخور الجيرية مما يؤدي إلى إذابتها، ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلتين التاليتين:

$$a-\quad CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

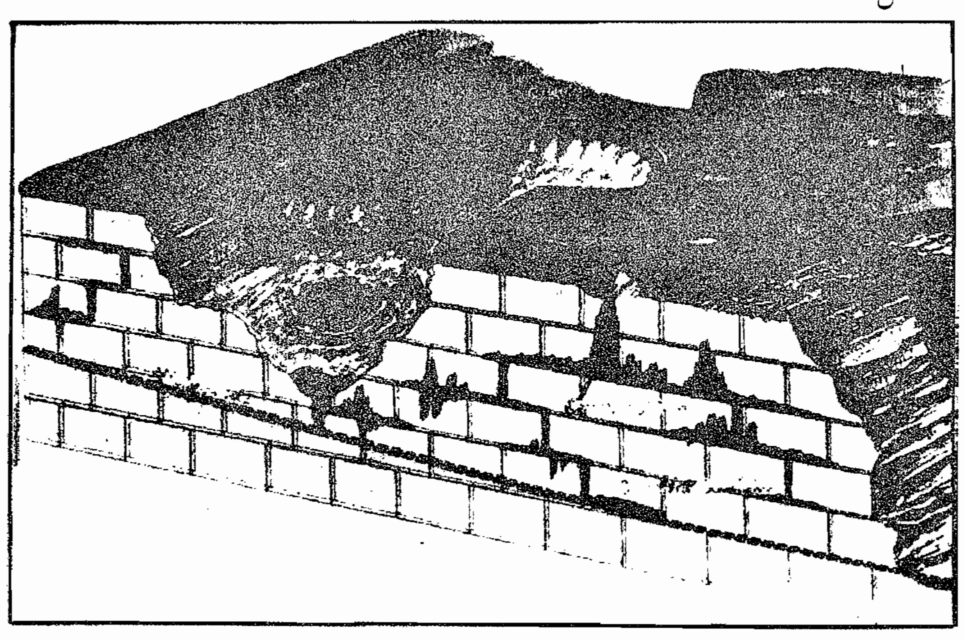
حامض كربونيك　ماء　ثاني أكسيد الكربون

$$b-\quad CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$

بيكربونات الكالسيوم　معدن كربونات الكالسيوم

(ذائب بالماء)　(صخور جيرية)

وتبعاً للتفاعل السابق، فإن حامض الكربونيك يحول الصخور الجيرية ($CaCO_3$) غير الذائبة بالماء إلى معدن بيكربونات الكالسيوم الذائب بالماء. ويترتب على ذلك تحول الصخور الجيرية الصلبة المتماسكة إلى صخور تكثر فيها الشقوق مما يؤدي إلى إنهيارها، وإن وجدت هذه الصخور في أسقف الكهوف فإن هذه الأسقف تتساقط وتنهار، وأحياناً تتحول إلى صخور ارتشاحية تمرر الماء من خلالها. انظر الشكل (4-2).



الشكل (4-2): تأثير عملية التكربن

4-2-3 نواتج التجوية

علمنا أن عمليات التجوية تؤدي إلى تفتت الصخور وتحويلها إلى حطامات

وفتاتات صخرية وفي بعض الأحيان تتراكم هذه الفتاتات على أسطح الصخور غير المجواة، وتبقى كذلك وبالذات في بعض المناطق التي لا تتعرض صخورها إلى عمليات الحت والنقل التي تقود إلى إزالة الفتات الصخري.

وتتباين نواتج التجوية حسب طبيعة العامل أو العوامل التي تنتجها، ويلاحظ أحياناً صعوبة التعرف على عامل التجوية الذي أنتج بعض الفتات الصخري، ويعود سبب ذلك إلى أن هذه النواتج لا تعود إلى عامل واحد فقط بل نتيجة لتأثير عدد من عوامل التجوية تؤثر في الوقت نفسه وتعمل على تجوية الصخور، وبالرغم من ذلك يبقى تأثير أحد عوامل التجوية مسيطراً على غيره من العوامل، وهذا العامل يعود إلى طبيعة المنطقة التي تحدث فيها التجوية.

ويتعارف علماء الجيولوجيا على الغطاء السطحي للقشرة الأرضية المتكون من الحطام الصخري باسم الرسوبيات السطحية، وهذه الرسوبيات تنتج من عمليات التجوية، ويتوافر من هذه الرسوبيات السطحية نوعان وهما:

1- رسوبيات سطحية متبقية، وتنتج من عمليات تجوية الصخور الموجودة في الطبقة تحت سطحية وهذه الرسوبيات تبقى ولا تنتقل من منطقة حدوث التجوية.

2- رسوبيات سطحية منقولة، ويقصد بها الفتات الصخري الناتج من التجوية والمنقول بواسطة عوامل النقل العديدة مثل الرياح والأنهار والثلاجات ومن هذه الرسوبيات الكثبان الرملية التي تحملها الرياح ورواسب الأنهار.

3-4 التعرية (الحت)

يعرفها باشا (1994) بأنها عملية تفتت الصخور السطحية المكونة لسطح القشرة الأرضية بفعل الطاقة الميكانيكية (الوضع والحركية) للغلافين الجوي والمائي والمتمثلة في حركة الرياح ومياه المطر المتساقطة والجارية والزحف الجليدي وتلاطم أمواج البحار والمحيطات على الشواطئ والتي تعمل على نقل الفتات الصخري إلى مواطن جديدة يترسب عليها.

ومن أهم العوامل التي تساعد على تعرية (حت) الصخور هي، الرياح، الماء بأشكاله العديدة مثل الأمطار وحركة أمواج البحار والمياه الجارية، وأيضاً حركة الجليد. وجميع هذه العوامل المسببة للحت لا تعمل إلا بتوفر الطاقة الشمسية. فعلى سبيل المثال، لا تندفع الكتل الهوائي المشكلة للرياح إلا بفعل وجود فرق في الضغط بين مكانين متجاورين على سطح الأرض، ولا ينشأ فرق الضغط بين المكانين إلا بتأثير اختلاف الطاقة الشمسية بينهما.

وتقوم العوامل المسببة للحث على نحت وتفتيت الصخور، فهي إضافة إلى عوامل التجوية، من المظاهر المؤثرة على تآكل الطبقة الخارجية للصخور بفعل الطاقة الميكانيكة التي تمتلكها هذه العوامل. فعلى سبيل المثال، يزداد تفتيت الصخور كلما زادت قوة التيارات المائية والهوائية، وكما أن حمولة التيارات المائية والهوائية من المواد مثل الحطامات والحصى والرمال تؤدي إلى تفتيت الصخور، وبزيادة الحمولة تزداد عمليات النحت والتفتت لهذه الصخور.

وفي ضوء المنظور السابق، فإن عملية التعرية (الحت) تتضمن عمليتن، وهما، تفتيت الصخور ونقل المواد المفتتة. وقد سبق لنا تناول موضوع تفتيت الصخور، وسنعالج فيما يلي عملية نقل المواد كما تحدث على سطح القشرة الأرضية.

1-3-4 النقل

ويقصد بالنقل عملية حمل المواد المفتتة والمفككة ونقلها من مكان تكونها إلى الأحواض الترسبية، وأما عوامل النقل فهي التيارات الهوائية والمائية المختلفة مثل الأنهار والجداول والجليديات وتحمل هذه العوامل المواد المتحولة إلى أماكن بعيدة

قبل ترسيبها في أحواض الترسيب. ويوضح الجدول (4-1) عوامل النقل المختلفة وتأثير كل عامل منها على تفتيت وتحطيم صخور القشرة الأرضية.

الجدول (4-1): عوامل نقل الفتات والمواد المفككة(*)

عامل النقل	مكان التأثير	نوع التأثير والنقل
1-الجاذبية الأرضية	المنحدرات	نقل الصخور المفتتة والمواد المفككة من الأماكن الجبلية والمرتفعات إلى الأماكن المنخفضة
2- الرياح	على جميع سطوح الأرض وبالذات في الصحارى	تقوم بنقل حبيبات الرمال والأتربة مكونة الكثبان الرملية.
3- الجليديات	السلاسل الجبلية في المناطق القطبية وفي أماكن تجمع الثلج	تكسير وتهشيم واقتلاع الكتل الصخرية الكبيرة من الطبقات الأرضية ونقلها من المرتفعات إلى الأماكن المنخفضة.
4- الموجات والتيارات البحرية	في السواحل المفتوحة وعلى قيعان المياه الضحلة	نقص السواحل الجدارية ويتكون أشكال مختلفة لجدران الصخور الساحلية.
5- الأنهار	على جميع السطوح الأرضية	تكسير الصخور ونقلها بواسطة الإنزلاق أو التعلق.

وتنتهي عمليات النقل المختلفة للمواد المحولة بعملية الترسيب حيث تصل عوامل النقل بالرواسب إلى مناطق منخفضة فوق سطح الأرض، وتعرف هذه المناطق باسم الأحواض الترسيبية، وفي هذه المناطق تفقد عوامل النقل قدرتها على حمل الرسوبيات فتستقر الرسوبيات على صورة طبقات يكون في أسفلها الجلاميد والحطامات الكبيرة الأوزان ثم يليها الحصى والرمال الناعم وتبقى المواد قليلة الوزن عالقة بالماء ويغلب على صفة الترسب المائي - كما لاحظت- صفة التصنيف.

ويلعب الترسيب داخل المياه الدور الرئيسي في تشكل الصخور الرسوبية، وتسهم الكائنات الحية كثيراً في تشكل الرسوبيات داخل البحار ولذا تكون هذه

(*) كتاب الجيولوجيا العامة. عبد الهادي الصائغ وزميله ص151.

الرسوبيات غنية بالبقايا العضوية. وأما البحيرات والتي غالباً ما تكون متصلة بالوديان والأنهار والتي تعتبر مياه جارية تحمل معها الفتات والرسوبيات فإنها أحواض ترسيبية هامة. كما تعتبر البحار والمحيطات أحواض ترسبية تتكون فيها الرسوبيات التي تتحول فيما بعد إلى صخور رسوبية تزيد من سماكة القشرة الأرضية، والرسوبيات البحرية مختلفة ومتعددة وتعتمد على كل من مكان الترسيب شاطئ أو في أعماق البحار والمحيطات ونوعية المواد الرسوبية.

وهناك أيضاً الرسوبيات التي تتكون بفعل الرياح، وتتكون في المناطق الجافة والصحراوية ومن أشهر هذه الرسوبيات هو الكثبان الرملية والرمال الناعمة.

وأما الجليديات فتحمل نوعاً آخر من الرسوبيات. وهذه الرسوبيات متمايزة ومختلفة فمنها الجلاميد والحطامات الكبيرة والرمال والطين وتحملها الجليديات إلى أحواض الترسيب حيث تترسب بصفة عشوائية وغير تصنيفية، وتمثل الرسوبيات خليطاً من رسوبيات متعددة الأحجام والأشكال.

2-3-4 التربة

من أهم نواتج عمليتي التجوية والحت (التعرية) هو التربة. فماذا يقصد بالتربة؟ تعتبر التربة الناتج المباشر لعمليات التجوية وهي الطبقة العليا المفككة الأجزاء من القشرة الأرضية والناتجة عن تفتيت الصخور بتأثير عوامل التجوية والتعرية. والتربة هي المحيط الطبيعي اللازم لنمو النباتات.

ومن ناحية التركيب، فينظر إلى التربة على أنها تجمع طبيعي لمعادن ومركبات عضوية متحللة، وتتكون من طبقات مختلفة السمك وتختلف في شكلها وطبيعة تركيبها وخواصها الكيميائية والحيوية عن طبقة الصخور الأساس (الأم) التي تحتها، ويعتمد نوع التربة وتكوينها على عدة عوامل ومنها ما يلي:

أ- الصخور الأساس (الأم).

ب- المناخ.

جـ- الكائنات الحية.

د- زمن تكونها.

هـ- التضاريس.

كما هو معروف لنا، فإن هذا الجزء العلوي من الستار هام للإنسان من النواحي التطبيقية، حيث أن له أهمية زراعية وهندسية، فتعتمد الزراعة على خصائص التربة التي تحدد خصوبتها، لذا يجري المهندسون الزراعيون دراسات لمعرفة الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة لمعرفة طريقة معالجتها للحصول على محاصيل زراعية جيدة، ومن ناحية أخرى، فإن المهندسين الزراعيين يهتمون بدراسة التربة من حيث قدرتها على تحمل البنايات والمنشآت التي تقام عليها.

وتصنف التربة تبعاً للعلاقة بين مكوناتها ومكونات صخور الأم أو الأساس التي نشأت منها، ولذلك فهناك نوعان من التربة وهما: التربة المتبقية، والتربة المنقولة.

1- التربة المتبقية

وهذا النوع من التربة يبقى في مكان تكونه الأصلي أي فوق صخور الأم أو الصخور المولدة لها بفعل عملية التجوية. وتحتوي التربة من هذا النوع على المعادن نفسها الموجودة بصخور الأساس.

2- التربة المنقولة

وهي التربة التي يتم نقلها من مكان تكوينها إلى أمكنة أخرى حيث ترسبت فيها، وبذلك تختلف معادنها عن المعادن الموجودة بالصخور تحتها. وعوامل نقل التربة عديدة ومنها الرياح والأنهار والمياه المتحركة وكما أن للجاذبية أثراً في نقل التربة ولذا تختلف أنواع التربة تبعاً لذلك، ومن أشهر أنواع التربة ما يأتي:

1- **التربة الهوائية:** وتتكون التربة الهوائية بفعل الرياح ويتشكل منها في الطبيعة نوعان وهما:

أ- تربة اللويس، وتنشأ هذه التربة في الظروف والمناخات القارية الجليدية والصحراوية وتتميز بأنها تتكون من خليط من المعادن الناعمة مثل الرمال والطين والطمي.

ب- الكثبان الرملية، وتنشأ هذه التربة في المناطق الصحراوية وتتكون الرمال من الفتات الصخري على شكل حبيبات منتظمة من الكوارتز وبعض معادن المايكا. وتأخذ الكثبان الرملية أشكالاً مختلفة على سطح القشرة الأرضية. وستأتي الإشارة إلى التربة الهوائية في هذا الفصل تحت موضوع أثر الرياح كأحد العمليات الخارجية المؤثرة على القشرة الأرضية.

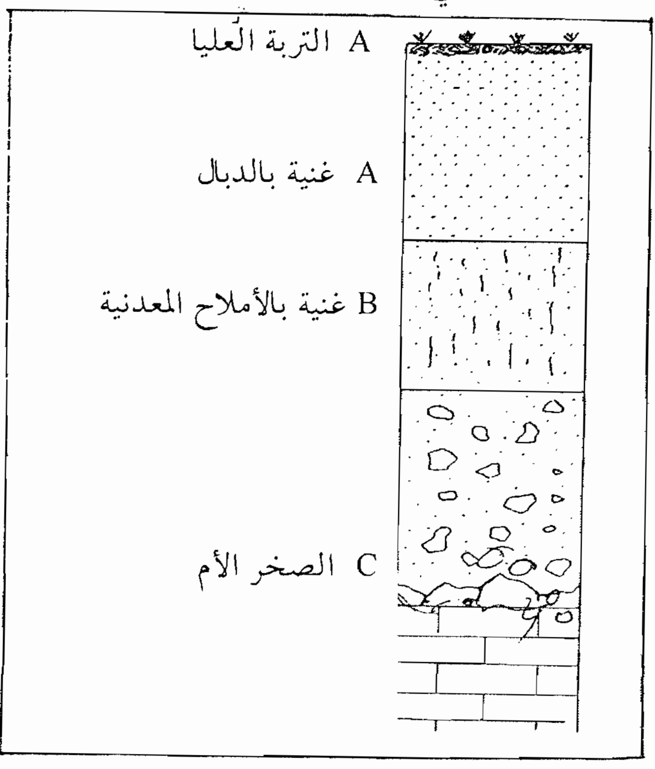
2- **التربة النهرية:** وتنشأ هذه التربة عادة في مجاري الأنهار وتظهر عندما تنحسر عنها المياه، وأيضاً تنشأ في المياه الضحلة قليلة العمق قرب الشواطئ. وتختلف الرسوبيات التي تحملها مياه الأنهار من حيث حجمها فتكون ذات حبيبات كبيرة الحجم مثل الحصى قرب منابع الأنهار بينما تترسب دقائق وحبيبات أكثر نعومة مثل الرمال على مسافات بعيدة جداً من تلك المنابع. وأما عند مصبات الأنهار فتكون الرسوبيات ذات حبيبات دقيقة وصغيرة جداً مثل الطين والطمي. وسنتناول هذا الموضوع مرة أخرى في الفصل السادس تحت عنوان الصخور الرسوبية.

3- **التربة التثاقلية:** وتتكون هذه التربة نتيجة تدحرج الفتات الصخري تحت تأثير قوى الجاذبية فتسقطها من أعالي الجبال والمرتفعات والوديان. وتكثر في المناطق الصحراوية الجافة المعقدة في تضاريسها الأرضية وتسود في هذه المناطق عوامل التجوية الميكانيكية. وتختلف مكونات التربة التثاقلية باختلاف نوع الصخور المفتتة كما تختلف حجم حبيباتها من بضع مليمترات إلى كتل كبيرة تعرف بالجلاميد الصخرية ليصل حجمها إلى عدة أمتار.

♦ قطاع التربة

ومن الموضوعات التي تساعد على فهم التربة هو موضوع قطاع التربة ويوضح قطاع التربة طبقاتها المتعددة، وهذه الطبقات تختلف من حيث اللون، والنسيج، والتركيب المعدني، والمكونات العضوية والمعادن الطينية وتجمع الأكاسيد وتركيز أيون الهيدروجين. ويقسم قطاع التربة عادة إلى ثلاث مناطق كما يوضحها

الشكل (4-3) وهذه المناطق هي:



الشكل (4-3) : قطاع التربة

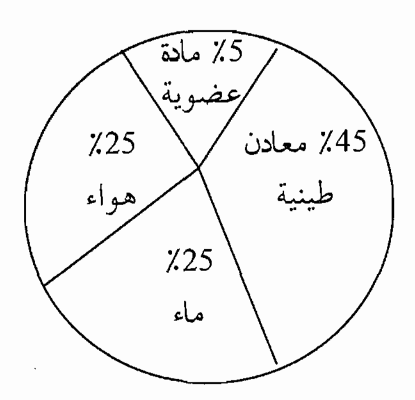
1- منطقة التربة العليا: (قطاع A (تربة سطحية)): وتمثل التربة العلوية المنطقة العلوية من قطاع التربة، وهذه التربة العلوية غنية بالمواد العضوية، وتتميز بخصائصها التي تشبه خصائص التربة الرملية من حيث نفاذيتها، لذا تسمى بالمنطقة المغسولة حيث أن مركبات الحديد والألمنيوم قد غسلت من هذه المنطقة وارتحلت الي المنطقة التي تحتها.

2- منطقة تحت التربة، (قطاع B (تربة تحت السطحية)): وتتميز هذه الطبقة بخاصيتها الطينية التي تمكنها من الاحتفاظ بالمعادن، ولذلك فهي ذات ألوان متعددة تبعاً لألوان المعادن التي تحتوي عليها.

3- المنطقة السفلى، (قطاع C (الصخر الأم)): وتشتمل على صخور الأساس المولدة للتربة وهذه المنطقة لا يتمثل فيها التتابع الطبقي المتكامل كما في مناطق

التربة الأخرى ولذلك تسمى التربة غير الناضجة.

وعموماً، تتكون التربة من خليط من المواد هي المعادن الطينية، والمادة العضوية والهواء والماء ويمكن تمثيل نسبها المؤية في التربة كما يوضحها الشكل (4-4).



الشكل (4-4) : النسب المئوية لمكونات التربة

4-4 العمل الجيولوجي للرياح

تعرف الرياح بأنها هواء متحرك بشكل عاصف، وغالباً تكون حركته أفقية، وعند المناطق القريبة من سطح الأرض تسمى رياحاً سطحية وإذا كانت حركتها في الطبقات العليا فإنها تسمى رياحاً علوية وعادة تزداد سرعة الرياح كلما ارتفعنا عن سطح الأرض، وتنقل الرياح المواد الخشنة والمواد الخفيفة المسماة غباراً.

وعمل الرياح يعتبر من النشاطات الجيولوجية للغلاف الجوي: ويظهر تأثيرها في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية حيث تقل الأمطار ويسود الجفاف مما يساعد على تفكك رسوبيات القشرة الأرضية وعدم تماسكها، وهذا يسهل حملها ونقلها بواسطة الرياح، ويؤدي هذا النقل إلى حدوث عمليتي حت (تعرية) وترسيب تميز المناطق الجافة وشبه الجافة.

والرياح هي العامل الأول في توزيع بخار الماء فوق سطح الأرض، وهي سبب في اختلاف المناخ فوق مناطق سطح الأرض أيضاً، كما أن طاقتها الحركية والحرارية تسهم أحياناً في النشاط الجيولوجي لأمواج البحار والمحيطات.

ونشأ الرياح بسبب اختلاف الضغط الجوي في منطقتين متجاورتين على سطح الأرض، وقد يكون لاختلاف درجات الحرارة والرطوبة بين المنطقتين دور في اختلاف الضغط الجوي بينهما وهذا الفرق بالضغط الجوي يدفع الكتل الهوائية للاندفاع بين المنطقتين.

وينظر لنشاط الرياح على أنه تأثير هدمي أو حتّي لصخور القشرة الأرضية وفي الوقت نفسه يعتبر عمل بنائي.

4-4-1 العمل الهدمي للرياح

تقوم الرياح بإزالة الرسوبيات المتفككة عن طريق حملها ونقلها، ونتيجة لارتطام الرسوبيات بالصخور فإنها تعمل على نحتها وبريها. ويكثر حدوث العمل الهدمي للرياح في المناطق الجافة قليلة الأمطار وفي الوقت نفسه تكثر فيها الرمال؛ فتحمل الرياح حبيبات الرمال والتي تقوم بدورها في نحت الصخور. ويطلق على هذا النوع من عمليات الهدم اسم الحت الريحي. ويحدث الحت الريحي نتيجة لعمليتين وهما: التذرية والبري .

أ- عملية التذرية: وهي عملية إزالة الرواسب المفككة مثل الرمال وجزيئات التراب والتي نتجت عن عمليات التجوية ثم نقلها إلى أماكن حوضية جديدة. وتشاهد عملية التذرية في الأماكن التي تخلو من الغطاء النباتي مثل مناطق الصحاري أو البحيرات والأنهار الجافة وكذلك في مناطق الزحف الجليدي. أنظر الشكل (4-5). وينتج عن عملية التذرية هجرة جزيئات ودقائق التربة وعناصرها، وهذا تأثير ضار بالإنسان حيث يتم إزالة الطبقة الصالحة من القشرة الأرضية التي تصلح للأعمال الزراعية.

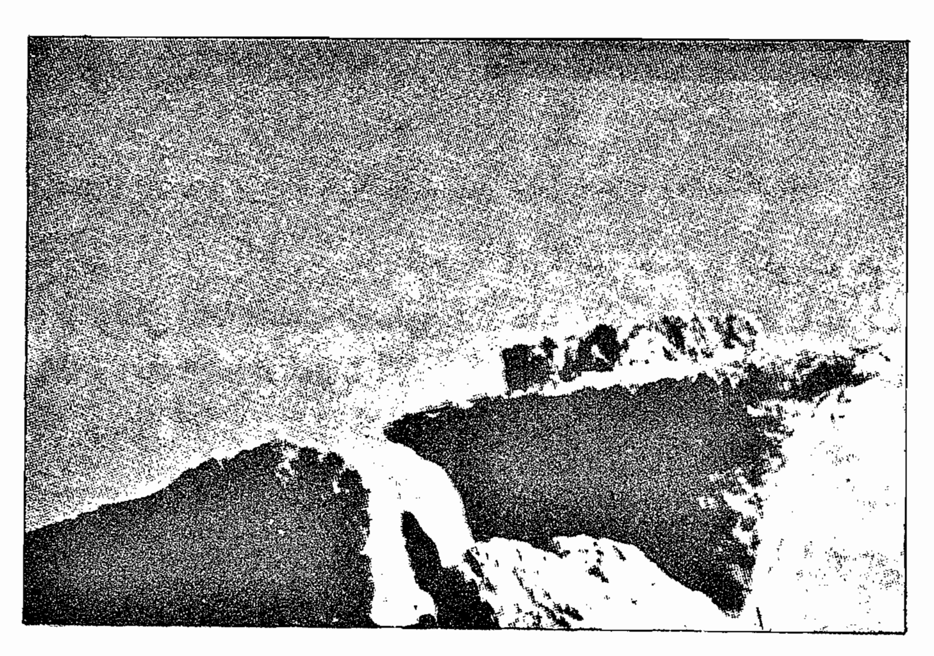
توقف التذرية
(طبقة من الحصو)
تذرية

الشكل(*) (4-5) : عملية التذرية

(*) أساسيات علم الجيولوجيا. محمد يوسف حسن وزملاؤه.

ب- عملية البري (السحج): وهي عملية تؤدي إلى تشكيل الصخور بأشكال غريبة نتيجة احتكاكها وضربها بحبات الرمال التي تحملها الرياح، وتشاهد عملية البري بشكل ملحوظ في المناطق الصحراوية، ويمكن مشاهدة أثرها في هذه المناطق حيث ينتج عنها بري ونخر أعمدة الهاتف والكهرباء على ارتفاع حوالي متر من سطح الأرض.

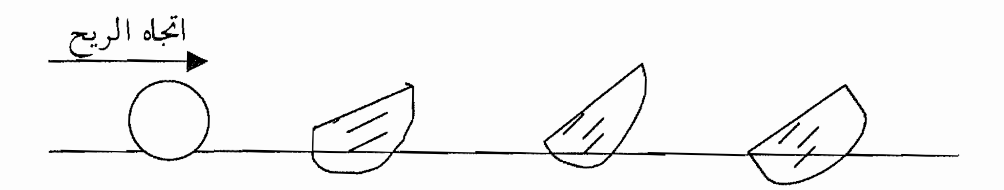
ومن المعالم الأخرى التي يمكن أن تشاهد في الصحراء نتيجة لعملية البري هو نخر طبقة الصخور السفلية القريبة من سطح الأرض وتتكون نتيجة لذلك أشكال غريبة للصخور تسمى مائدة الشيطان أو صخر عيش الغراب، انظر الشكل (4-6).



الشكل (4-6): مائدة الشيطان

وكما تشاهد نتائج أخرى لعملية البري في الصحراء، وتظهر على شكل بري بعض الأحجار المعروفة باسم الوجهريات، وهي حصى لها أشكال مثلثية منتظمة

ومصقولة تنتج بفعل الرياح، ويمكن استخدام هذه الوجهريحيات للاستدلال على اتجاه الرياح، انظر الشكل (4-7).



الشكل (4-7) : مراحل تكون الوجهريات

2-4-4 العمل البنائي للرياح

تعتبر الرياح عوامل نقل هائلة في الطبيعة، فتنقل كميات كبيرة جداً من الدقائق، والحبيبات الرسوبية والغبار ودقائق الرمال، وتقدر أحياناً حمولة الرياح خلال زمن قصير ما بين $10^7 - 10^9$ طن، وقد تنقلها الرياح إلى مسافات بعيدة تصل إلى بضع آلاف من الكيلومترات عن مكانها الأصلي، وتكون هذه الحمولة التي تنقلها الرياح ترسبات في أحواض الترسيب وتتكون على شكل أكوام أو تلال.

ويمكن تقسيم حمولة الرياح إلى نوعين وهما:

1- حمولة معلقة:وتتكون هذه الحمولة من حبيبات ودقائق يتراوح قطرها بين $\left(\frac{1}{4}\right)$ - $\left(\frac{1}{3}\right)$ملمتر وتحمل هذه الحمولة العواصف الغبارية.

2- حمولة متحركة: وتتكون من حبيبات الرمال التي تتحرك قريبة من سطح الأرض وتنقل هذه الحمولة بواسطة العواصف الرملية الشديدة.

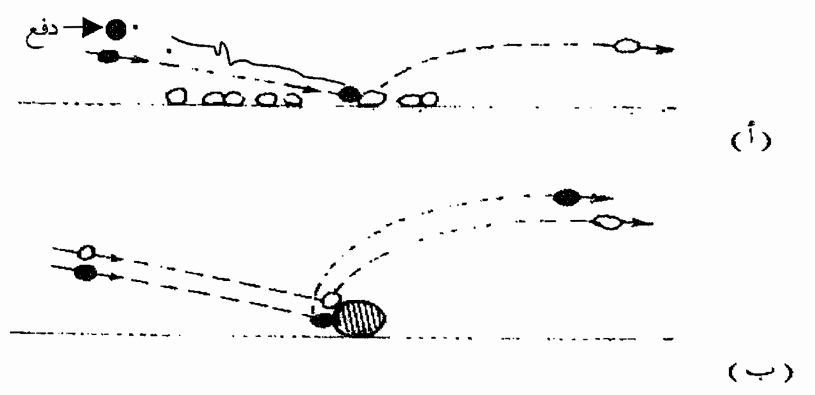
وتحدث أحياناً عواصف غبارية رملية تحمل النوعين من الحمولة، حبيبات الرمال ودقائق الغبار، ولعلك استنتجت أن النقل بواسطة الرياح يشبه إلى حد بعيد النقل بواسطة المياه الجارية التي تحدث على سطح الأرض.

وربما يخطر في الذهن السؤال التالي: كيف تنتقل حبيبات الرمال والغبار بواسطة الرياح؟ أو يمكن صياغة السؤال بطريقة أخرى ما الآليات التي تشرح انتقال

حبيبات الرمال والغبار؟

انظر الشكل (4-8) ثم حاول التوصل إلى إجابة السؤال المطروح.

لعلك توصلت إلى أن الآلية الأولى تتلخص في أن حبيبة الرمل تصطدم بحبية أخرى وتدفعها الرياح بسرعة أقل من سرعة الحبيبة الصادمة قبل عملية الاصطدام.



الشكل[*] (4-8) : آليات انتقال حبيبات الرمل

وأما الآلية الثانية فيتم فيها اصطدام حبيبات رمل صغيرة تسير بسرعة معينة بحبية كبيرة من الرمل، ثم ترتد الحبيبات الصادمة بسرعة أكبر إلى ارتفاعات أعلى في تيار الرياح.

وفي الغالب، وعندما تواجه حبيبات الرمل المحمولة عائقاً ما بطريقها أو عندما تقل سرعة الرياح التي تنقلها، فإنها تترسب ويتكون نوعان من الرواسب وهما: رواسب اللوس، التجمعات الرملية.

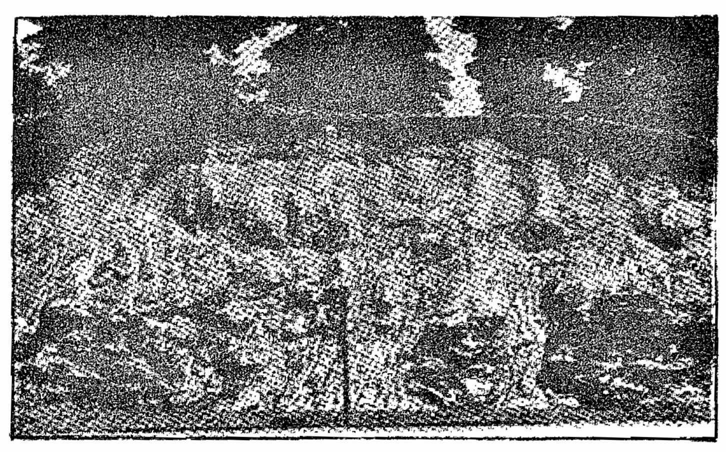
1- رواسب اللوس

يعود سبب التسمية نسبة إلى مدينة اللوس في شمال فرنسا حيث تكثر هذه الرواسب، كما يوجد رواسب اللوس في الصين وأمريكا الشمالية حيث تشغل مسلحات واسعة بمثل هذه الرواسب فيبلغ سمكها مئات الأمتار وتتميز بخصوبتها

(*) أساسيات علم الجيولوجيا . محمد يوسف حسن وزملاؤه صفحة 255 .

وغنائها بالمعادن.

ورواسب اللوس من الرواسب الريحية وتتكون من دقائق الغبار ولذلك فإنها تعتبر حمولة معلقة ويكون أصلها من الدقائق التي تغطي سطح المناطق الصحراوية، وتبقى دقائق الغبار معلقة في الهواء ما لم تؤثر عليها الأمطار فتسقطها في بعض المناطق وغالباً تكون حول المناطق الصحراوية، وتمتاز رواسب اللوس بحجومها الصغيرة التي تقارب حجم حبيبات الطين. وتتكون هذه الحبيبات من معادن الكالسيت والفلسبار والمايكا والكوارتز، ويميل لونها بين الأصفر والأحمر. انظر الشكل (4-9).



الشكل (4-9): رواسب اللوس

2- التجمعات الرملية

وتأخذ هذه التجمعات أشكالاً متعددة، ومنها ما يتجمع بمساحات محدودة عند شواطئ البحار، ومنها ما يتجمع بمساحات شاسعة في المناطق الصحراوية. وهذا الشكل من التجمع الرملي في الصحارى يسمى الكثبان الرملية.

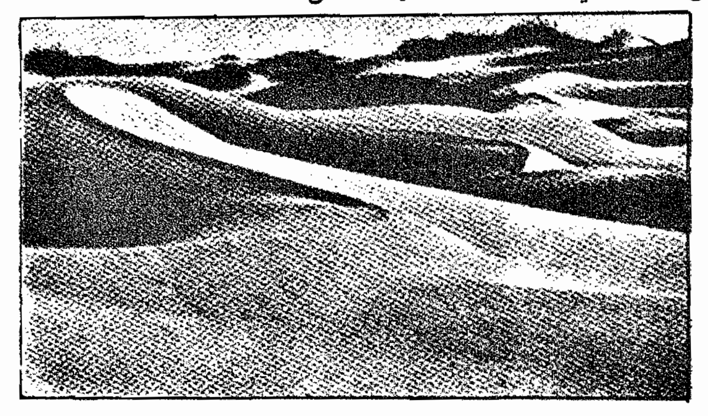
فما هي هذه الكثبان الرملية؟ وكيف تتكون؟ وما هي أشكالها؟ انظر الشكل (4-10).

الكثيب وجمعها كثبان وهو عبارة عن مرتفع أو حاجز من الرمال المترسبة بواسطة الرياح ويتكون نتيجة لوجود عارض يعترض مجرى الرياح ويؤدي إلى تجمع

حبيبات الرمال المحمولة على هذه الرياح ثم سقوطها وبعد ذلك تتماسك معاً. وعادة يبلغ ارتفاع الكثبان الرملية بين بضع أمتار إلى مئات الأمتار. وتتكون بعض أنواع الكثبان عند شواطئ البحار ومعظمها تتكون في المناطق الصحراوية. ومن أشهر أنواع الكثبان الرملية ما يلي:

1- الكثبان الرملية الهلالية

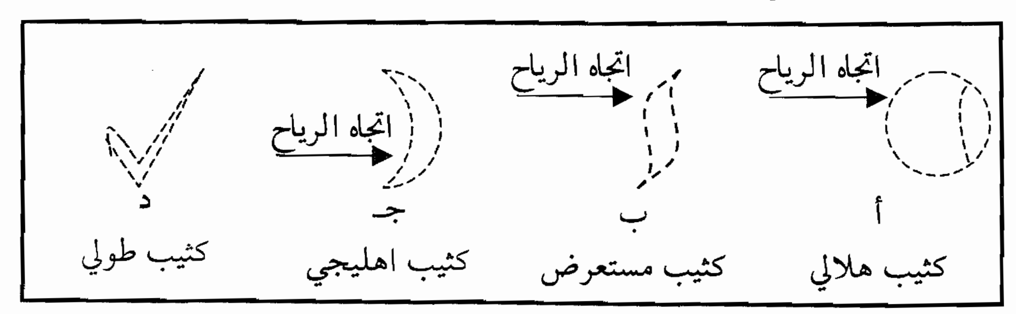
وتتكون هذه الكثبان الهلالية في المناطق ذات اتجاه الرياح الثابت وتتشكل على صورة مجموعات ونادراً ما توجد منفردة ويبلغ ارتفاعها بين (20-30) متراً وطولها يصل إلى حوالي 150 متراً انظر الشكل (4-11).



الشكل (4-10): يوضح الكثبان الرملية التي تبنيها الرياح

2- الكثبان الرملية المستعرضة

وتشبه الكثبان الهلالية وتظهر في المناطق التي يكون فيها اتجاه الرياح عمودياً على الاتجاه الأصلي، وهذا يحدث في المناطق الصحراوية التي يوجد فيها جبال مرتفعة انظر الشكل (4-11).



الشكل (4-11) : بعض أشكال الكثبان الرملية

3- الكثبان الرملية الإهليلجية

وتتكون هذه الكثبان من تراكمات مستطيلة من الرمال تمتد في اتجاه موازٍ لاتجاه الرياح ويصل ارتفاعها أحياناً حوالي (100)متراً انظر الشكل (4-11).

4- الكثبان الرملية الطولية

تتكون في المناطق كثيرة الرياح وذات الرمال القليلة وقد يصل ارتفاعها إلى حوالي (100) متراً وطولها يبلغ (400) كيلو متراً، انظر الشكل (4-11).

4-5 العمل الجيولوجي للأمطار

4-5-1 تمهيد

علمت سابقاً دور الطاقة الشمسية في العمليات الخارجية التي توثر على القشرة الأرضية عموماً، وعلى نحو أكثر تحديداً فإن للطاقة الشمسية دور هام وأساسي ومباشر في تبخير الماء من الغلاف المائي ونقله على صورة بخار ماء إلى أعلى هذا الغلاف، وتقوم التيارات الهوائية بعد ذلك بتحريك أبخرة الماء ثم تتجمع على شكل سحب لتسقط أخيراً بصورة أمطار أو ثلوج، ويعرف المطر بأنه تساقط قطرات الماء من قواعد السحب إلى سطح الأرض عندما تكون درجة حرارة السطح والغلاف الجوي القريب منه أعلى من درجة الصفر المئوي.

ويتوزع ماء المطر على سطح اليابسة بعدة أشكال ومنها ما يلي:

1- جزء من ماء المطر يتبخر مباشرة ويعود مرة أخرى الي الغلاف الجوي.

2- جزء من ماء المطر يجري على المنحدرات وتتكون منه الأنهار والسيول، ويسمى هذا الجزء بالماء السطحي أو الماء الجاري.

3- جزء يتخلل سطح القشرة الأرضية ليصل الي الصخور التي توجد تحتها ويسمى بالماء المتخلل، وهذا المكون الأساسي للمياه الجوفية.

وتختلف كمية الأمطار الساقطة على سطح الأرض نظراً لنسب توزيعها في الغلاف الجوي ويتحكم في هذا التوزيع ثلاثة عوامل وهي ما يلي:

1- التبخر

وتعتمد كمية الماء المتبخرة على عوامل عدة وهي: درجة حرارة الهواء، ورطوبته، وشدة الرياح، وتزداد كمية تبخر الماء بزيادة درجة الحرارة وزيادة سرعة الرياح وتقل بزيادة نسبة الرطوبة في الهواء.

2- نوعية تضاريس سطح القشرة الأرضية والخضرة

تزيد كمية المياه الجارية على سطوح الجبال مع زيادة انحدارها ومن المعروف أن السطوح الجبلية العادية تزيد من شدة جريان الماء عليها، وتقلل نسبة تبخر الماء منها، كما أن زيادة تخضير سطح القشرة الأرضية تعمل على تقليل شدة جريان الماء وبالتالي تعمل على زيادة امتصاص الماء إلى أعماق سطح القشرة الأرضية.

3- طبيعة الصخور الواقعة تحت سطح القشرة الأرضية

تؤثر طبيعة الصخور على نسب الماء المتخلل والجاري على السطح تأثيراً مباشراً، فإذا كانت طبقة السطح من صخور طينية فإن نسبة الماء الجاري تزداد على هذا السطح وتقل نسبة الماء المتخلل ويزداد التبخر، وعلى العكس من ذلك إذا كانت طبقة السطح متكونة من الرمال.

ويرى علماء الجيولوجية بوجود ثلاثة أنواع من الماء توجد على سطح الأرض وهي:

النوع الأول: الماء السماوي، وهو الماء الساقط على صورة أمطار.

النوع الثاني: الماء المقرون وهو ماء حبيس بين مسامات الصخور ويعود مصدره إلى تسرب ماء البحار بين طبقات الصخور الرسوبية.

النوع الثالث: الماء الصهاري، وهو الماء المنبثق من باطن الأرض والمنبثق مع صعود الماجما أثناء النشاط البركاني.

4-5-2 الحت بواسطة الأمطار

تقوم الأمطار بعمل جيولوجي هام أثناء سقوطها وحين اصطدامها بسطح القشرة الأرضية؛ فهي تعمل على حت الصخور وتعرية سطح القشرة من المواد الفتاتية والركامية والحطامية المتجمعة على هذا السطح.

ويمكن شرح عملية التعرية بالاستعانة بآليتين وهما:آلية الاصطدام، وآلية الجريان.

1- آلية الاصطدام

تتساقط قطرات المطر من قواعد السحب وتكتسب أثناء سقوطها طاقة حركية تزداد مع ارتفاع السحب وتقل مع مقاومة الهواء لهذه القطرات وعندما تصل هذه القطرات إلى سطح الأرض تصطدم بها بقوة وقد ينتج عن ذلك تفتت المواد المكونة لهذه السطح ومن ثم تتناثر هذه الفتاتات، وإذا حدثت عملية الاصطدام على سطح منحدر فإن الفتات تتساقط أسفل المنحدر. ويكون تأثير آلية الحت بواسطة الاصطدام أكثر ما يمكن في المناطق التي تكون سطوحها غير مغطاة بغطاء نباتي مثل المناطق الصحراوية، ويترتب على هذه الآلية تطاير ذرات الطين مما يؤدي إلى اتلاف التربة اذا ما سقطت عليها أمطار غزيرة.

2- آلية الجريان

توصلنا في الفقرة السابقة إلى أن عملية الحت بالاصطدام تؤدي إلى تناثر دقائق التراب وبالتالي فإنها تندفع للحركة، وعند سطوح المنحدرات والهضاب تسحب مياه الأمطار الغزيرة طبقة الطين إلى الأسفل، وينتج عن ذلك أن غطاء سطح القشرة الأرضية يتعرض للإنجراف في حالة سقوط الأمطار الغزيرة على هذه المنحدرات والهضاب.

وأما الإنجرافات التي تحدث على سطوح الهضاب فتكون أحياناً من الشدة والقوة بحيث تجر كميات كبيرة من الركامات والحطامات الصخرية. ويمكن وصف حركة هذه الحمولة على سطح الأرض بالاستعانة بتوضيح المظاهر التالية للإنجرافات الأرضية: الزحف، الانزلاقات.

1- الزحف

وتتمثل عملية الزحف في الحركة البطيئة للمواد على سفوح المنحدرات، وقد يكون من ضمن المواد الزاحفة كميات من التراب والطين وأحياناً تتحرك معها كميات من الصخور. ومن الشواهد على مقدار القوة التي تحدثها عملية الزحف هو ما نشاهده من ميل أعمدة الهاتف والأشجار المزروعة على هذه السفوح وأيضاً عدم قدرة النبات تثبيت جذوره بالأرض، وتبعاً لكمية الأمطار الساقطة والمياه الجارية على السفوح والمنحدرات تزداد كميات التراب الزاحفة، وهذا الزحف بهذه الحالة يأخذ شكلين وهما:

أ- الزحف الترابي

يحدث عند زيادة كمية المياه الساقطة حيث يرافقها انفصال جزء من الركام المكون لسطح الأرض ثم حركته لمسافة قصيرة عن موضعه الأصلي، وتعرف هذه العملية بالزحف الترابي.

ب- الزحف الطيني

وعندما يزداد تشبع التراب بالمياه يزداد تبعاً لذلك كميات التراب المنسابة في عملية الزحف، ويؤدي هذا إلى تحرك طيني، ويشبه هذا التحرك حركة السوائل والمحاليل، ومن الأمثلة التي توضح ذلك هو حركة طبقات الطين التي تحدث عند سفوح البراكين.

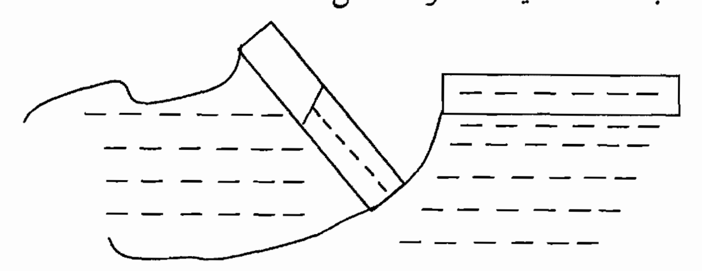
2- الإنزلاقات

وهذه الإنزلاقات هي حركات واندفاعات سريعة ومفاجئة للصخور الأساسية والركامات الكبيرة على سطح الارض، ويشاهد نوعان من الإنزلاقات تبعاً لحركات الصخور الأساسية وهما: أ- الإنزلاقات الأرضية، ب- الإنهيارات.

أ- **الإنزلاقات الأرضية (الصخرية)**: وتحدث الإنزلاقات الأرضية نتيجة سقوط أو إنفصال كتلة صخرية من الصخور الأساسية، ثم تنزلق هذه الكتلة أسفل المنحدرات، وفي أثناء ذلك تتحطم وتتفتت وتنتشر بشكل فتات في الوديان والمناطق المنخفضة، وغالباً ما تحدث هذه الإنزلاقات الأرضية عند السطوح

الأرضية الضعيفة في صخورها وتماسكها.

ب- **الانهيارات:** تتكون في الحالات التي تنتشر فيها كميات من الصخور فوق بعض الطبقات الضعيفة، انظر الشكل (4-12).



الشكل (4-12) : انهيار أرضي

سؤال: فرّق بين المصطلحين التاليين: الإنزلاقات الأرضية والإنهيارات.

4-6 العمل الجيولوجي للجليديات (الثلاجات)(*)

4-6-1 تمهيد

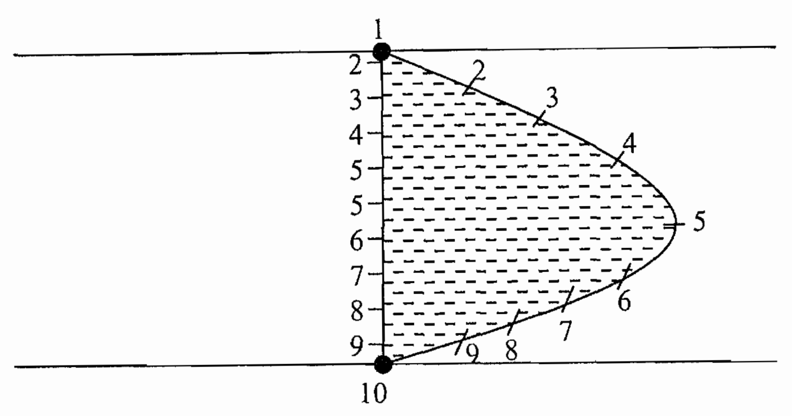
يطلق اسم الجليدية على كتلة من الجليد المتحرك، وكما يطلق اسم الجليدية على المنطقة التي يكسوها الجليد طوال أيام السنة، وتوجد مثل هذه المنطقة التي تراكمت فيها الثلوج فوق الجبال حيث يبلغ سمك الثلج فيها عشرات الأمتار، وهذا التراكم للثلج يؤدي إلى تبلوره ويتحول إلى جليد في الطبقات السفلى من الجليدية، حيث يصبح الجليد كطبقة متماسكة، ويساعد هذا على انزلاق الجليدية بفعل الجاذبية الأرضية من أعالي الجبال إلى المنخفضات والوديان فتندمج مع غيرها مكونة أنهاراً ثلجية أو ثلاجة (جليدية).

وقد يتوصل المشاهد لثلاجة (جليدية) أنها ثابتة لا تتحرك، لكن بتدقيق الملاحظة والنظر يلاحظ هذا المشاهد أن الثلاجة في حالة حركة لكنها من نوع الحركات البطيئة جداً.

ومن أبسط التجارب التي تؤكد حركة الجليدية هي أن تدق أوتاداً من الخشب في

(*) باشا (1994) . الجيولوجيا العامة .

خط مستقيم يقطع الجليدية من جانب إلى آخر مع وضع وتد في الأرض اليابسة على جانبي الثلاجة وعلى نفس امتداد خط الأوتار (1،2،3،...10) انظر الشكل (4-13).



الشكل (4-13) : حركة الثلاجة

وبعد فترة من الزمن يلاحظ المشاهد أن الخط المستقيم المتمثل بالأوتاد من (2-9) قد تحول إلى خط منحنى، وذلك لأن الأوتاد قد غيرت مواضعها وتقدمت باتجاه الوادي، ويلاحظ أيضاً أن الأوتاد الوسطية قد تقدمت أكثر من الأوتار الجانبية ولم تغير الأوتاد على اليابسة (1،10) مواقعها. وتشبه حركة الجليدية حركة مياه الأنهار حيث تزداد سرعة التيار المائي في الوسط عن سرعة الماء عند جانبي النهر.

وتختلف سرعة الجليديات وفقاً لحجمها وانخفاض درجة الحرارة، وبصورة عامة تتراوح سرعة الجليديات بين (2) سم و (1.25) متراً في اليوم الواحد.

ويتكون الثلج عندما تنخفض درجة الحرارة في طبقات الجو إلى أقل من (-40) درجة مئوية، حيث تتجمد قطرات الماء في الجو حول أنوية صغيرة موجودة في هذه الطبقات وتشكل بلورات الثلج السداسية فتسقط بفعل الجاذبية الأرضية، وأما الجليد فيتكون من تجمد الماء نتيجة تراكم الثلوج فوقه مما يشكل ضغطاً على الطبقات السفلى منه.

ومن المعروف أن هناك توازناً بين كميات الماء السائل في المحيطات والبحار

والماء المتجمد في الجليديات فزيادة حجـم الجليديـات يـؤدي إلى تنقيـص كميـة المـاء السائل في المحيطات، وانصهار كميات من الثلج في الجليديات يزيد من منسوب ميـاه المحيطات والبحار.

4-6-2 تكوين الجليديات

تتكون الجليديات نتيجة لتراكم الثلـج وإعـادة تبلـوره ممـا يـؤدي إلى تكويـن حقول الجليد، والحقول الجليدية هي مساحات واسعة مغطاة بالثلوج تملأ الهواء وتبقى هكذا طيلة أيام السنة. ويؤدي زيادة كميات الثلج واستمرار تراكمها إلى توليد ضغط على الطبقات الثلجية السفلية، وبالتالي تقليل حجومـها. ويعـزى ذلـك إلى تقـارب حبيبات الثلج وبلوراته بعضـها إلى بعـض ثـم تصلبـها فتتحـول إلى جليـد شـديد التماسك، وقد سبق وأن أطلقنا عليه اسم الجليديات أو الثلاجـات. وأحيانـاً ترتفـع درجة حرارة الجو فينصهر جزء من الجليد في الحقل الجليدي وعندما تنخفـض درجـة الحرارة إلى درجة التجمد مرة أخرى، تتصلب طبقة الماء مكونة طبقة رقيقة من الجليد، تستقبل فوقها كميات جديدة مـن الثلـج وتتكـرر عمليـة تصلـب الثلـج وتكويـن الجليديات سنوياً، ويمكن معرفة عمر الجليدية من معرفة عـدد طبقـات الجليـد حيـث تمثل كل طبقة سنة من سنوات عمر الجليدية.

4-6-3 أنواع الثلاجات

تصنف الجليديات عادة إلى صنفين وهما: جليديات الجبال والوديان، جليديات القارات.

أ- **جليديات الجبال والوديان:** تنمو جليديات الجبال في وديان نهرية موجودة أصلاً بين المناطق الجبلية المرتفعة، وتزود هذه الوديان بالجليد من الجبال حولها وأيضاً من نواتج الانهيارات الجليديـة وتشـبه هـذه الوديـان شـكل اللسـان، ويحيـط بجوانبه كميات من الرسوبيات الـتي تنقلـها الجليديـات أثنـاء حركتـها. ومـن الجدير بالذكر أن حركة الجليديات على سطح الأرض يقـود إلى نحـت السـطح واقتلاع الصخور والركامات الصخرية، وبالتالي نقلها إلى الأحواض الترسبية. ومن الأمثلة على جليديـات الجبـال هـي جليديـات جبـال الألـب في أوروبـا وأطلس في المغرب وجبال الاسكا في أمريكا.

ب- الجليديات القارية: وهذا النوع عبارة عن جليديات ضخمة تشغل مساحات واسعة على سطوح القارات وقد يبلغ وزن الجليدية القارية 18,000 طن. ومن أمثلة الجليديات القارية جليديات القطب الجنوبي وجليديات جرينلاند.

4-6-4 عمل الثلاجات

يتلخص عمل الثلاجات في تعرية سطح القشرة ثم نقل الفتاتات وبالتالي ترسيبها في نهاية سيرها في أحواض الترسيب.

أ- التعرية بواسطة الثلاجات: تعمل الثلاجة على نحت الصخور ثم تفتيتهاونقلها وفي نهاية الأمر ترسيب الفتاتات والجلاميد الصخرية في نهاية سيرها.

تحمل الجليدية (الثلاجة) الصخور الكبيرة البارزة التي تصادفها أثناء سيرها سواء كانت هذه الصخور في قاع مجراها أو على طرفيه، وبذلك فإن حمولتها وحركتها الانحدارية من أعلى إلى أسفل تولد قوة تمكن الثلاجة من نحت الوديان التي تجري فيها. وإذا احتكت الصخور بسطع الوادي فإنها تصقله وتبريه وقد تترك هذه العملية خدوشاً متوازية الاتجاه في باطن الوادي، ويبدو مجرى الجليد شبيهاً بشكل الحرف (U) بمعنى أن باطن المجرى يتشكل بصورة مستديرة وهذا دليل واضح على أنه مجرى للجليدية، وعلى عكس مجرى النهر الذي يشبه شكل الحرف (V) حيث يكون قاع المجرى أكثر عمقاً من مجرى الجليدية. وتستعين الجليدية بقطع وفتات الصخور والحصى والرمل الموجودة في أسفلها في تكسير وخدش وصقل القاع.

ب- الترسيب بواسطة الثلاجات: تتكون رواسب الثلاجات عادة عند نهاية مجراها أو في الأماكن التي تنسحب (تنحسر) فيها تاركة خلفها رواسب غير منتظمة الشكل، على عكس الرواسب التي تخلفها الأنهار والتي تكون منتظمة الترسيب؛ فتختلط القطع الصخرية التي تنقلها الثلاجة مع المواد الطينية دقيقة الجزيئات، وتسمى هذه الترسبات الثلجية الحاوية على القطع الصخرية والطين **بالركام الطيني**.

ويترسب من مياه الثلاجات وأحياناً رواسب منتظمة تشبه الرواسب النهرية

مرتبة حسب حجومها بحيث يكون الأكبر حجماً في الأسفل والرسوبيات الدقيقة مثل الطين والرمال في الأعلى.

ولا يخفى على البال ما يحدث لثلاجات الجبال والوديان عند هبوطها إلى السطوح المنخفضة من الأرض، وبلوغها منسوباً لا تسمح بعده حرارة الجو باستمرارها كثلاجة فعندها ينصهر الثلج وتتحول الثلاجة إلى نهر من الماء. وعند ذلك ترسب الثلاجة كل ما كانت تحمله من مواد صخرية وغيرها على صورة أكوام غير منتظمة وغير مرتبة من الرسوبيات. وقد تشكل الثلاجات بحيرات تنشأ من امتلاء الحفر الكبيرة التي تتكون في مجاري هذه الثلاجات أو قد يسبب تراكم الركام الثلجي وتجمعه سداً في الوديان يؤدي إلى منع جريان الماء ويكون بحيرات كما يحدث في كل من كندا وفنلندا.

5-6-4 ثلاجات عصر البليستوسين

ويعرف هذا بالعصر الجليدي ويمتد من بداية الحقب الرابع. وفي هذا العصر غطت الثلوج مساحات شاسعة من أنحاء العالم وخاصة المناطق القطبية الشمالية والجنوبية والمعتدلة، وأما المناطق الاستوائية وذات المناخ الحار فقد سادت فيها الأمطار الغزيرة.

وفي هذا العصر غطى الجليد مساحات كبيرة قدرت بحوالي العشرين مليون كيلو متراً مربعاً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية في الولايات المتحدة وجبال الهملايا وجبال الألب، وأيضاً غطى الجليد مساحات شاسعة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية مثل جرينلاند وجنوب إفريقيا.

ولقد تبين للعلماء أن المناطق الجليدية سالفة الذكر قد تغطت بالجليد خلال أربع فترات زمنية بالتعاقب، وكان الجليد يتراجع بعد كل فترة منها، وتعرفوا على ذلك من خلال دراسة رواسب الثلاجات مثل الحصى وحبوب النباتات الأحفورية (المتحجرة)، وأيضاً من تحليل الكربون المشع الناتج من بقايا النباتات المدفونة في رواسب هذه الفترات الزمنية الأربع.

6-6-4 أسباب تكون الجليديات

اقترح العلماء عدداً من النظريات أو الفرضيات لتفسير نشأة الجليديات وتكونها في العصور التي واكبت العصر الجليدي، وتستند هذه النظريات على دراسة الرواسب التي تركتها الجليديات أثناء إنحسارها مثل بقايا النباتات الأحفورية ونظائر الكربون المشع فيها، ومن بعض النظريات ما يأتي:

1- **نظرية التغيرات في كمية الطاقة المستقبلة من الشمس:** وتفسر هذه النظرية التغيرات في كمية الطاقة الشمسية إلى وجود الغبار في الجو وربما كان مصدره البراكين وهذا أدى إلى تبريد الأرض، ومن المحتمل أيضاً أن نقصان كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو والذي يعتبر كخازن للطاقة الشمسية قد أدى إلى تبريد الأرض .

2- **نظرية حركة القارات النسبية (انسياح القارات):** وتفسر هذه النظرية تكون الجليديات نتيجة إنجراف القارات وتغير مواقع الكتل القارية، وانقلاب المجال المغناطيسي الارضي والتي يعتقد أنها قد أدت إلى تبريد سطح الكرة الأرضية.

3- **نظرية التغيرات في مواقع قطبي الأرض:** وتنص هذه النظرية على أن هناك تغير في مناخ بعض المناطق نتيجة لحركتها باتجاه القطبين الباردين مما أدى إلى تبريدها ثم تكون الجليديات عليها.

7-4 الانخفاض والارتفاع في درجة الحرارة

تعتبر الشمس المصدر الرئيسي الوحيد للحرارة للأرض، ويقدر معدل ما ترسله من الطاقة الحرارية لكل اسم^2 من هذا السطح هو 1.94سعر/ دقيقة، ولكن جزءاً منها يضيع نتيجة إنكسار الأشعة الحرارية وامتصاصها من المصادر المتعددة الآتية(*):

أ- 47٪ من الطاقة الحرارة الشمسية يمتصه الغلاف المائي واليابس.

ب- 19٪ منها يمتصه الغلاف الجوي.

(*) باشا، (1994).

جـ- 19٪ منها ينعكس بفعل سطح الغلاف الغازي إلى الفضاء الخارجي.

د- 25٪ منها ينعكس عن السحب وعن سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي.

وهناك مصدر آخر للطاقة الحرارية يصل إلى سطح الأرض ويكمن في الطاقة الحرارية الباطنية للأرض التي تعزى إلى ما يحدث من تفاعلات نووية من تفاعلات الانحلال النووي للنظائر المشعة الموجودة في القشرة الخارجية للأرض. وتنتشر هذه الطاقة الحرارية إلى سطح الأرض من خلال تدفق البراكين والمياه الساخنة والصدوع والزلازل والإزاحة القارية. وتنتقل كمية كبيرة من الطاقة الحرارية الباطنية بواسطة تيارات الحمل إلى سطح القشرة الأرضية وتؤثر بصورة فعالة في الألواح الصخرية (التكتونية) مما ينشأ عنها تكسر هذه الألواح ثم تباعدها لبدء تكون بحر صغير ثم يتوسع إلى محيط، ويرافق هذه التيارات حدوث المظاهر الجيولوجية المتعددة مثل البراكين والزلازل والتي تؤدي بدورها إلى حدوث تغييرات هامة على سطح القشرة الأرضية.

8-4 أسئلة الفصل الرابع

1- عرّف الأفكار والمصطلحات الآتية:

العمليات الخارجية، الترسيب، التجوية، الحت (التعرية) المطر الرياح، الجليدية، الكثيب الرملي، التربة، الجليد، الانزلاق، وجهريحيات، التذرية، التميؤ، التكربن.

2- أذكر فرقين بين كل فكرتين مما يلي:

أ- التجوية والحت (التعرية).

ب- التجوية الكيميائية والتجوية الميكانيكة.

جـ- الإنزلاق الارضي والإنهيار.

د- الثلج والجليد.

هـ- التذرية والسحج.

و- التميه والتحليل المائي.

ل- التأكسد والتكربن.

ز- التربة المنقولة والتربة المتبقية.

س- قطاع (A) وقطاع (B).

ش- العمل الهدمي للرياح والعمل البنائي.

ي- حمولة معلقة وحمولة متحركة.

ح- التجمع الرملي والكثيب.

3- فسر ما يلي:

أ- حدوث الرياح.

ب- تحول المطر إلى ثلج.

جـ- البري .

د- الإنزلاق الأرضي.

هـ- انهيار الكهوف الأرضية.

و- تكون التربة.

ل- أثر تجمد الماء في تكسير صخور القشرة الأرضية.

ع- خلو قطاع (A) من التربة من أيونات الأملاح.

ز- تكون الكثبان الرملية.

ي- الوجهريحيات تدل على اتجاه الرياح في الصحاري.

4- فسر الآليات التالية:

أ- آلية التذرية.

ب- آلية البري.

جـ- العمل البنائي للرياح.

د- آلية الحت بواسطة الأمطار.

هـ- آلية الاصطدام.

و- آلية الجريان.

ل- آلية الزحف.

س- آلية تكون الجليدية.

ش- عمل الثلاجات كعامل هدم.

5- ما هو المبدأ الذي يقوم عليه كل مما يلي:

أ- التميه.

ب- التفحم (التكربن).

جـ- التأكسد.

د- قوة التبلور.

هـ- التشبع بالماء والجفاف.

و- التجوية الكيميائية.

ز- الحت (التعرية).

س- البناء بفعل تأثير الجليدية.

6- ماذا يقصد بجليدية عصر البلاستيوسين؟ كيف نفسر تكون الجليدية؟

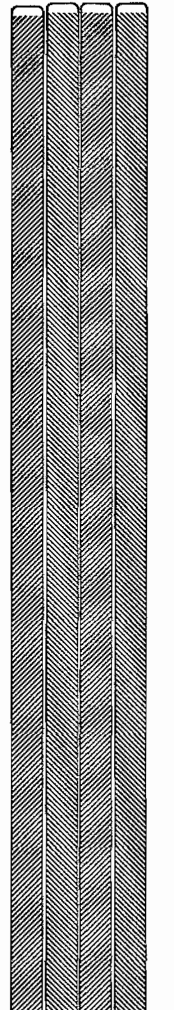
7- صف بالتفصيل دورة الماء بالطبيعة، أين نجد ماءاً نقياً في الطبيعة؟

8- ما أنواع الرسوبيات التي تغطي سطح القشرة الأرضية؟ صف كل منها.

9- ما هي العوامل الأساسية التي تسبب عملية الحت؟

10- وضح معنى قطاع التربة؟ ارسم شكلاً يوضح ذلك؟

الفصل الخامس



المعادن والبلورات

يقسم هذا الفصل إلى قسمين. والقسم الأول منه يتناول مفهوم المعدن، وخصائصه، وتصنيفات المعادن، وخصائصها الطبيعية وطرق تكونها في الطبيعة. وأما القسم الثاني فيتناول دراسة البلورات وطرق تكونها وأهم عناصر البلورات وفصائلها.



5

المعادن والبلورات

5-1 التهيئة

يتكون الغلاف الصلب للقشرة الأرضية من صخور ومعادن. والصخور تتكون من علة معادن وتعتبر اللبنات أو الوحدات التركيبية التي تتشكل منها القشرة الأرضية. وأما المعادن فهي اللبنات الأساسية أو الوحدات التركيبية التي تتشكل منها الصخور.

ويعرض الفصل الخامس بجانب من التفصيل دراسة موضوعي المعدن والبلورة. كما سيتناول هذا الفصل بالدراسة المادة من حيث طبيعتها ومكوناتها.

5-1-1 طبيعة المادة وخصائصها الكيميائية

تعتبر العناصر أبسط صورة للمادة، وتتكون هذه العناصر من جسيمات صغيرة جداً تسمى الذرات. ولكل عنصر من العناصر المعروفة ذرات تتشابه بعضها إلى بعض، وفي الوقت نفسه، تختلف ذرات عنصر ما عن ذرات عنصر آخر بالمكونات والخصائص الكيميائية.

وتتكون ذرة العنصر من نواة تدور حولها الإلكترونات في أفلاك (مستويات طاقة أو مدارات)، وفي داخل النواة توجد جسيمات نووية مختلفة، ومنها البروتونات والنيترونات. وتعود معظم كتلة الذرة إلى كتلة النواة ومحتوياتها من الجسيمات النووية كالبروتونات والنيوترونات. ويستخدم مصطلحان في مجال دراسة الذرة وهما الآتيان:

أ- العدد الكتلي للذرة

ويعرف بأنه مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات داخل النواة. ويأخذ هذا

المصطلح بالاعتبار أن كتلة البروتون هي وحدة كتل ذرية، وكما أن للنيوتـرون كتلـة مكافئة لكتلة البروتون. وفي الوقت نفسه، تـهمل كتلـة الإلكترونـات في حسـابات العدد الكتلي للذرة.

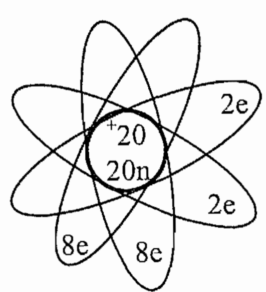
ب- العدد الذري

وهو عدد الإلكترونات أو البروتونـات في الـذرة. ويحمـل الإلكـترون شـحنة كهربائية سالبة، والبروتون يحمل شـحنة كهربائيـة موجبـة، وفي نفـس الوقـت فـلا شحنة كهربائية للنيوترون.

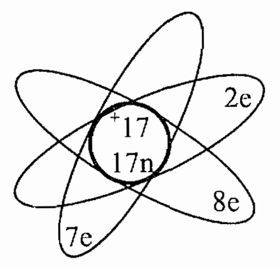
وفي الظروف العادية، يتساوى عدد الإلكترونات في الذرة مع عدد البروتونات فيها فتعرف الذرة في هذه الحالة بأنها ذرة متعادلة.

وأما الأفلاك (المدارات) حول الذرة فهي محددة السعة بالإلكترونـات. فـأقصى سعة للفلك الأول (2) إلكترونات، وأقصى سـعة للفلـك الثـاني (8) إلكترونـات والثالث (18) إلكتروناً، والرابع (32) إلكتروناً.

وكتوضيح لما سبق لنا تناوله من معلومات حول الذرة ندرس فيما يلي بعـض الأمثلة. إن العدد الكتلي لذرة الهيدروجين هو واحـد وعددهـا الـذري أيضـاً واحـد ($^{1}_{1}H$)، أي يوجد داخل نواة ذرة الهيدروجين بروتون واحد وفيها إلكترون واحد يدور في الفلك الأول للذرة، وفي ذرة الهيليوم يكون العدد الكتلي (4) والعدد الـذري لهـا (2) ($^{4}_{2}He$)، وبذلك يكون داخل النواة بروتونان ونيوترونـان، ويـدور حـول النـواة إلكترونان يشغلان مكاناً لهما في الفلك الأول للذرة. وتعتبر ذرة الهيليـوم ذرة خاملـة أو مستقرة (لماذا؟). ولـذرة الكالسـيوم ($^{40}_{20}Ca$) عـدد كتلـي (40) وعـدد ذري (20)، وبذلك فيوجد داخل النواة (20) بروتوناً و(20) نيوترونـاً، ويوجـد في الـذرة (20) إلكتروناً تتوزع كما يلي: إلكترونان في الفلـك الأول، و(8) إلكترونـات في الفلـك الثاني، والفلك الثالث تتوزع فيه (8) إلكترونـات، ويبقـى إلكترونـان يتوزعـان في الفلك الرابع. وعندما تتفاعل ذرة الكالسيوم فإنها تفقـد الإلكترونـان مـن الفلـك الرابع وتكتسب تكافؤ ثنائي موجب (لماذا؟).



وذرة الكلور ($^{33}_{17}Cl$) عددها الكتلي (35) وعددها الـذري (17)، يوجـد فيـها (17) بروتوناً و(18) نيوترونا داخل النـواة، وفي الوقـت نفسـه فإنـها تمتلـك (17) إلكتروناً تتوزع كما يلي: (2، 7،8) في الأفلاك الأول والثاني والثالث علـى التـوالي. وعندما تدخل ذرة الكلور في تفاعل كيماوي فإنــها تميـل لكسـب إلكترونـاً واحـداً لتصل إلى حالة الاستقرار، وبذلـك تصبـح ذريتـها في مركباتـها (−1)، وتتحـول إلى أيون أحادي سالب الشحنة.



ومن الأمثلة السابقة ومن غيرها يتبين أن هنالك ثلاثة أنواع من العناصر وهي التالية:

1- عناصر لديها القدرة على فقـد إلكترونـات مـن أفـلاك ذراتـها الأخـيرة عندمـا تشترك في تفاعل كيميائي، وهذا النوع مـن العنـاصر يوجـد في الفلـك الأخـير لذراته، إما إلكتروناً واحداً أو اثنين أو ثلاثـة إلكترونـات، وتسـمى بالعنـاصر الفلزية.
2- عناصر لديها القدرة على كسب إلكترونات تضـاف إلى أفـلاك ذراتـها الأخـير، عندما تشترك في تفاعل كيميـائي مـع ذرات عنـاصر أخـرى. وهـذا النـوع مـن العناصر يوجـد في الفلـك الأخـير لذراتـه إمـا (5) أو (6) أو (7) إلكترونـات ويسمى بالعناصر اللافلزية.
3- العناصر الخاملة وهي عناصر يوجد بها في المدار الأخير 2 أو 8 أو 18 إلكترونـا ولا تميل للتفاعل الكيميائي.

5-1-2 المركبات الكيميائية

تتفاعل ذرات العناصر المختلفة المتوافرة في القشرة الأرضية لتكوين مركبات كيميائية تتميز بخصائص معينة. وتكون الذرات المكونة لجزيء المركب الكيميائي مستقرة وثابتة. والجزيء يعتبر أصغر جزء من المركب الكيميائي يحمل صفاته وخصائصه المميزة.

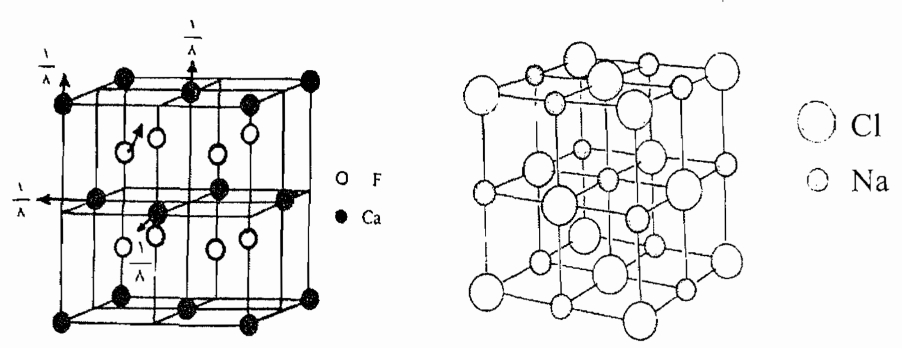
والتفاعل الذي يحدث بين ذرات الصوديوم وذرات الكلور هو مثال توضيحي جيد لتوضيح فكرة بناء جزيئات المركب الكيميائي وبلوراته. كما تعلم، يوجد في الفلك الأخير لذرة الصوديوم إلكترونا واحداً تفقده الذرة في التفاعل الكيميائي للوصول إلى حالة الاستقرار، كما تعلم يوجد في فلك ذرة الكلور الأخير سبعة إلكترونات وتميل الذرة لكسب إلكتروناً واحداً للوصول إلى حالة الاستقرار. والتفاعل الذي تمثله المعادلة الكيميائية التالية يوضح تفاعل ذرات الصوديوم مع ذرات الكلور:

$$Na + Cl \xrightarrow{\text{حرارة}} Na^{+}\ Cl^{1-}$$

وينتج عن التفاعل جزيء كلوريد الصوديوم بصورته الأيونية التي تصل إلى نسبة 70٪ تقريباً من عدد الجزيئات المتكونة فيه. ثم يستمر التحام جزيئات كلوريد الصوديوم لتكوين أنوية النظام البلوري المكعب لهذا المركب، فتتجمع الأيونات في نواة البلورة بحيث يحاط كل أين صوديوم بستة أيونات من الكلور، ويحاط كل أيون كلور بستة أيونات من الصوديوم، ويتشكل نتيجة لهذا التجمع من الأيونات نواة البلورة المكعبة لمعدن ملح الطعام (كلوريد الصوديوم أو الملح الصخري). انظر الشكل (5-1)، وفي الطبيعة يوجد عدد كبير من المركبات الكيميائية التي تسمى أملاحاً تتكون جزيئاتها من شقين، شق سالب وآخر موجب. وتعتبر الأملاح في الطبيعة من أكثر أنواع المعادن شيوعاً وانتشاراً مثل معدن الكالسيت ($CaCo_3$) والملح الصخري (NaCl).

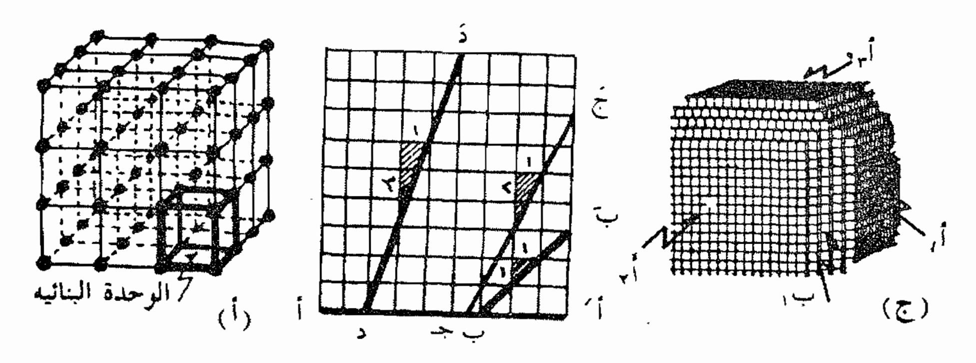
وفي بلورة معدن فلوريد الكالسيوم المبين في الشكل (5-1) يحيط بكل أيون كالسيوم ثمانية أيونات من الفلور، ويحيط بكل أيون من أيونات الفلور أربعة

أيونات من الكالسيوم. وتكون النسبة بين أيونـات الفلـور إلى أيونـات الكالسـيوم كنسبة 2 : 1، وتصل كل ذرة في البلورة إلى وضع الاستقرار وبذلـك يكـون جـزيء فلوريد الكالسيوم جزيئاً متعادلاً كهربائياً.



(أ) ترتيب الذرات فى بلورات من الملح الصخري

(ب) ترتيب الذرات فى بلورة من فلوريد الكالسيوم CaF_2 حيث أن كل ذرة كالسيوم يناظرها ذرتان من الفلورين. ويكون ذلك واضحاً إذا رأينا أنه يخص كل مكعب في الشكل المبين $4 \times \frac{1}{8} = \frac{1}{2}$ أيون من أيونات الكالسيوم وأيونا واحداً من أيونات الفلورين.



(ج) بلورة غير مكتملة

الشكل (5-1): بلورات المعادن

5-1-3 الروابط الكيميائية

تتوقف الخصائص الطبيعية والكيميائية للمركبات الكيميائية بشكل خاص، والمواد، بمختلف أنواعها وأشكالها على نحو عام، على طبيعة الروابط الكيميائية ونوعها بين الذرات والجزيئات التي تتكون منها هذه المركبات الكيميائية خاصة والمواد الموجودة في الطبيعة بصورة عامة، وحسب طبيعة العلاقة بين ذرات الجزيئات وارتباطها معاً يوجد أربعة أنواع من الروابط الكيميائية.

1- الرابطة الأيونية

تنشأ الرابطة الأيونية نتيجة انتقال إلكترون واحد أو أكثر من الفلك (المدار) الخارجي لعنصر معين إلى الفلك الخارجي لعنصر آخر، وبذلك نحصل على أيون موجب للعنصر الأول وعلى أيون سالب للعنصر الثاني، ويصبح الفلك الأخير لكل من العنصرين مشبعاً. وينشأ حينئذ تجاذب كهربائي بين الأيون الموجب والأيون السالب.

لنأخذ معدن كلوريد البوتاسيوم كمثال لتوضيح هذا النوع من الروابط.

إن لعنصر البوتاسيوم (ع. ذ = 19) تسعة عشر إلكتروناً من بينها واجد فقط في الفلك الخارجي الأخير لذرته، ولعنصر الكلور (7) إلكترونات في الفلك الأخير لذرته فيحدث تفاعل كيميائي بين البوتاسيوم والكلور ينتقل الإلكترون من الفلك الأخير لذرة البوتاسيوم، ويتكون نتيجة لذلك أيون البوتاسيوم الموجب (K^+)، إلى ذرة الكلور، ويتكون أيضاً نتيجة لذلك أيون الكلور السالب (Cl^-).

ويمكن تمثيل ذلك كما يأتي:

$$K + Cl \xrightarrow{ح} K^{+} + Cl^{1-}$$

ونتيجة للجذب الكهربائي بين أيونات البوتاسيوم (K^+) وأيونات الكلور (Cl^-) تترابط أعداد هائلة من هذه الأيونات مشكلة نواة بلورة معدن كلوريد البوتاسيوم، وتسمى الرابطة بين الأيونين رابطة أيونية.

وتحدث هذه الرابطة بين العناصر التي يوجد في أفلاكها الأخيرة إلكتروناً واحداً أو إلكترونين أو ثلاثة إلكترونات، وهذه العناصر تستعد لخسارة هذه الإلكترونات، مع العناصر التي يوجد في أفلاكها الأخيرة خمسة أو ستة أو سبعة إلكترونات ويكون لديها الاستعداد لاكتساب الإلكترونات للوصول إلى حالة الاستقرار.

2- الرابطة التساهمية (التشاركية)

إضافة إلى الرابطة الأيونية التي سبق ذكرها، فإن هناك عدد كبير من المركبات المستقرة وغير الأيونية مثل غاز الميثان (CH_4)، وكلوريد الهيدروجين (HCl) وجزيئات بعض العناصر الغازية مثل الكلور (Cl_2) والهيدروجين (H_2) وما إلى ذلك.

نفسر نوعية الرابطة التساهمية في مثل هذه الجزيئات بأن كل ذرة من ذرات الجزيء تسهم بإلكترون واحد أو أكثر للوصول إلى حالة الاستقرار (التشبع). فعندما ترتبط ذرتا هيدروجين مع بعضهما إلى بعض تنتج رابطة مكونة من زوج من الإلكترونات ساهمت فيه كل ذرة بإلكترون واحد، وهذا الزوج من الإلكترونات لا تختص به ذرة دون أخرى بل يعود إلى الجزيء ككل.

ويسمى هذا النوع من الروابط بين ذرتي الهيدروجين بالرابطة التساهمية. ويمكن تمثيل ذلك كما يلي:

$$H\cdot + \cdot H \rightarrow H:H\ (H-H)$$

والمثال التالي يوضح الرابطة التساهمية بين ذرتي جزيء الكلور (Cl_2):

$$:\ddot{\underset{..}{Cl}}\cdot + \circ\overset{\circ\circ}{\underset{\circ\circ}{Cl}}{}^{\circ}_{\circ} \rightarrow :\ddot{\underset{..}{Cl}}:\overset{\circ\circ}{\underset{\circ\circ}{Cl}}{}^{\circ}_{\circ}\ (Cl-Cl)$$

وتحتوي ذرة الكلور على سبعة إلكترونات في الفلك الأخير، وبعد تكوين جزيء الكلور (Cl_2) كما هو مبين أعلاه نلاحظ أن كل ذرة كلور أصبح لها ثمانية إلكترونات في الفلك الأخير وبذلك تصل إلى حالة الاستقرار.

ويمكن لعنصرين تكوين أكثر من رابطة تساهمية بينهما، وذلك من خلال المساهمة بأكثر من زوج من الإلكترونات، ففي حالة المساهمة بإلكترونين لكل ذرة

منهما نحصل على رابطة ثنائية تساهمية، وفي حالة المساهمة بثلاثة أزواج من الإلكترونات تتكون رابطة ثلاثية تساهمية.

ومن الأمثلة على ذلك ما يلي:

أ) جزيء الإيثيين (C_2H_4) :

$$H_2C = CH_2$$

ب) جزيء النيتروجين (N_2):

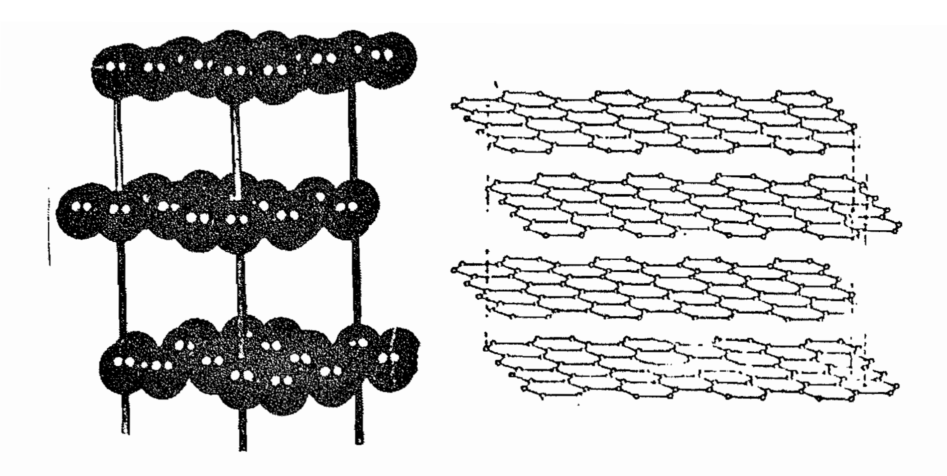
$$N \equiv N$$

3- الرابطة المعدنية (الفلزية)

تحدث هذه الرابطة بين ذرات العنصر الفلزي نفسه مثل الذهب والألمنيوم والنحاس حيث تميل ذراته لفقد عدد من الإلكترونات من أفلاكها الأخيرة لتتحول إلى أيونات موجبة. أما الإلكترونات المفقودة فإنها تشكل سحابة إلكترونية حرة في البناء الذري للعناصر، وتحيط هذه السحابة بالأيونات الموجبة دون أن تؤثر على الارتباط بين الذرات المكونة للعنصر أو العناصر التي فقدت هذه الإلكترونات. وفي الوقت نفسه، فإن الإلكترونات المفقودة لا تخصّ ذرة معينة في البناء الذري أو البلوري للعنصر، وإنما هي ملك للتركيب البلوري كله كوحدة متكاملة؛ وتعمل هذه السحابة الإلكترونية على إحداث قوى تجاذب بين الأيونات الموجبة للعنصر وتتميز العناصر الفلزية نتيجة للرابطة المعدنية بعدد من الخصائص مثل قابليتها للسحب والطرق والقدرة على توصيل التيار الكهربائي والحرارة.

4- روابط (قوى) فان دي فال

وهي قوى ضعيفة تنشأ بين الجزيئات المتعادلة على سطح عنصر فلزي إضافة إلى وجود قوى ارتباط أخرى بينها. ففي معدن الجرافيت (C) ترتبط ذرات الكربون بعضها إلى بعض بروابط فان دي فال ويتكون نتيجة لذلك صفائح رقيقة يسهل فصلها على شكل صفائح رقيقة في مستويات متوازية نتيجة لضعف هذه القوى. انظر الشكل (5-2).



الشكل (5-2): الشبكة البلورية للغرافيت

5-1-4 خصائص الحالة البلورية

تناولنا في دراسة جزيئات مركبي كلوريد الصوديوم وفلوريد الكالسيوم توضيحاً لكيفية تكون نواة البلورة المكعبة لجزيء كلوريد الصوديوم وجزيء فلوريد الكالسيوم. ماذا يحدث بعد ذلك؟ إن ما يتم بعدها، شريطة، توفر بعض الظروف المناسبة مثل درجات الحرارة والتركيز المناسب من جزيئات المركب وأيضاً حرية حركة الأيونات المكونة لجزيئات المركب، أن تتكرر الوحدة البنائية للبلورة وتنمو إلى أحجام معقولة هي نفسها حجم البلورات الموجودة في الطبيعة. ويُعتبر الحجم الجديد للبلورة أكبر بكثير من حجم الوحدة البنائية لها. ويستمر بناء البلورة حتى يشغل حجم الوحدات البنائية للبلورة الفراغ الذي تشغله البلورة نفسها وبالتالي تكوين بنيان هندسي منتظم وثابت.

وفي الشبكة أو النظام البلوري للمعدن تترتب الذرات أو الأيونات ترتيباً منتظماً يسّهل نمو الأسطح البلورية للمعدن بشكل واضح ومميز، وبالتالي فإن المادة المتبلورة تتميز ببناء داخلي منتظم يوضح أوجهها التي تعكس الترتيب الهندسي المنتظم للبلورة. ويمكن التحقق من هذا الترتيب في النظام البلوري باستخدام تقنيتين وهما؛ المجهر المستقطب والأشعة السينية.

5-1-5 مفهوم المعدن

يعرّف المعدن بأنه مادة طبيعية غير عضوية توجد في الطبيعة وليس للإنسان شأن في تكوينه، وهو مادة صلبة متجانسة التركيب لها تركيب كيميائي محدّد، وبناء داخلي ذري منتظم (بلوري) معين، يحدد كيفية ترتيب الذرات والأيونات ضمن جسم البلورة.

ويتكون المعدن في أغلب الأحيان من اتحاد عنصرين كيميائيين أو أكثر بنسبة محددة. فالجالينا (PbS) معدن مكون من اتحاد عنصري الرصاص والكبريت وهو خام موجود في الطبيعة، وكذلك الملح الصخري (NaCl) معدن آخر، وكما أن الكلسيت ($CaCO_3$) معدن ثالث. وفي بعض الأحيان توجد بالطبيعة بعض المعادن تتشكل من عنصر واحد مثل (Au) والغرافيت (C). ولكل معدنٍ خصائص طبيعية (فيزيائية) تساعد على معرفته والكشف عن هويته.

سنتناول في هذا الفصل دراسة ما يلي:

أولاً: خصائص المعدن وأصنافه الرئيسية.

ثانياً: دراسة البلورة.

5-2 خصائص المعدن وأصنافه الرئيسية

تتكون القشرة الأرضية من العناصر الكيميائية الأساسية والتي يبلغ عددها بالطبيعة 92 عنصراً، وتشكل عشرة عناصر فقط أكثر من 99٪ من محتويات القشرة الأرضية. وفيما يلي العناصر العشرة الشائعة:

الأكسجين (O_2، 46.71٪)، السيليكون (S_i، 27.69٪)، الألمنيوم (Al، 8.07٪)، الحديد (Fe، 5.05٪)، الكالسيوم (Ca)، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K) والماغنيسوم (Mg)، والتيتانيوم (Ta)، والهيدروجين (H_2). وقد درست ذلك في الفصل الثالث من هذا الكتاب.

والعناصر المذكورة لا توجد حرة بالقشرة الأرضية ولكنها توجد في الصخور المختلفة متحدة مع العناصر الأخرى اتحاداً كيميائياً. ومما تجدر الإشارة إليه أن الأكسجين والسيليكون من أكثر المعادن انتشاراً في القشرة الأرضية.

5-2-1 التركيب الكيميائي للمعادن

إن العناصر العشرة التي تشكل القشرة الأرضية، سابقة الذكـــر، هـي عناصر فلزيـة مـا عـدا السـيليكون (Si) والأكسـجين (O_2) فـــهما عنصـــران لا فلزيـــان. وللسيليكون خصائص معينة تضعه بين العناصر الفلزية والعناصر اللافلزيـــة، ولـه ميل للاتحاد بالعناصر الفلزيـــة. ويقـع السـيليكون في المجموعـة الرابعـة في الجـدول الدوري، ولذا فيوجد في فلك ذرته الأخير (4) إلكترونات فيميل للمشاركة مع غيره لتكوين جزيئات معادن السليكات.

وتتحـد جميـع العنـاصر المذكـورة سـابقاً مـع الأوكسـجين مكونـة الأكاسـيد. والأكاسيد عدة أنواع منها ما يلي:

أ- أكاسيد قاعدية

وهي أكاسيد تتفاعل مع الماء وينتج عن التفاعل الهيدروكسيدات (القواعـــد). ومن الأكاسيد القاعدية؛ أكسـيد الكالسـيوم (CaO)، وأكسـيد الصوديـوم (Na_2O)، وأكسيد المغنيسـيوم (MgO). وإن التفـاعل بـين أكسـيد الكالسـيوم مـع المـاء ينتـج هيدروكسيد الكالسيوم يمكن تمثيله بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

هيدروكسيد الكالسيوم

ب- أكاسيد حامضية

وهي الأكاسيد اللافلزية وتتفاعل مع الماء لإنتاج الحموض، ومن أمثلتها ثـــاني أكسيد الكربون (CO_2) وثالث أكسيد الكبريت (SO_3). والتفاعل بين ثالث أكسـيد الكبريت والماء ينتج عنه حامض الكبريت (VI) (الكبريتيك) ويمكن تمثيله بالمعادلـــة الكيميائية التالية:

$$SO_3 + H_2O \rightleftarrows H_2SO_4$$

وتتفاعل الهيدروكسيدات مع الحمـــوض مكونـة الأمـلاح والمـاء. ويمثـل هـذا التفاعل تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مـع حمـض الكـبريت (VI) حسـب المعادلـة التالية:

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

معدن كبريتات الكالسيوم

ومعدن كبريتات الكالسيوم هو عبارة عن ملح، والملح عادة يتكون من شقين وهما؛ الشق القاعدي وهو أيون فلزي موجب مثل أيون الكالسيوم (Ca^{2+})، وأيون البوتاسيوم (K^+)، والشق الحمضي وهو إما أن يكون أيون لا فلز سالب مثل أيون الكلور (Cl^-) والبروم (Br^-) أو أيون مجموعة كيميائية سالبة مثل مجموعة الكبريتات (SO_4)، والفوسفات (PO^{-3}_4). والمعادن المعروفة في القشرة الأرضية معظمها من مركبات الأملاح المعدنية وغالبيتها من معادن السليكات.

2-2-5 تكون المعادن في الطبيعة

تتكون المعادن في القشرة الأرضية بعدة طرق وهي:

1- طريقة التبلور من الصهارة

تتكون هذه المعادن من تبلور صهارة الصخور النارية وينتج عنها معادن الصخور النارية.

2- طريقة التبلور من المحاليل المائية

تكوّن هذه المعادن المحاليل المائية الموجودة على سطح القشرة الأرضية التي تكون الغلاف المائي. فالمعادن التي تتبلور من هذه المحاليل تكوّن الصخور الرسوبية، وتكوّن المعادن المتبلورة من هذه المحاليل الحارة الكثير من الخامات الفلزية الاقتصادية.

3- طريقة إعادة التبلور

تتكون بعض المعادن نتيجة لإعادة ترتيب الذرات في بلورات المعادن السابقة التكوين، ويمكن هنا إضافة أو حذف بعض الذرات عند تكوين المعدن الجديد. وتحدث هذه الطريقة داخل الشقوق بالطبيعة حيث توجد محاليل لمعادن معينة يعاد تبلورها لإعطاء معادن جديدة، ويتطلب ذلك إعادة النظام البلوري للمعادن تحت ظروف من الضغط العالي والحرارة العالية؛ والمعادن الجديدة تكوّن المواد التالية في القشرة الأرضية:

1- الصخور المتحولة وتحدث داخل الشقوق.

2- الرسوبيات والمعادن الطينية: تحدث نتيجة عوامل التعرية على الصخور القديمة ولا سيما الصخور النارية.

5-2-3 التصنيف الكيميائي للمعادن

تصنف المعادن عادة حسب تركيب وطبيعة الشق الحامضي لجزيئات المعادن. وفي الطبيعة أكثر من ألفي ((2000)) معدن معروف لدى الإنسان، وتتشكل معظم صخور القشرة الأرضية من عدد من المعادن لا يتجاوز (300) معدناً، وتصنف هذه المعادن في مجموعات أساسية بحسب تركيبها الكيميائي وخاصة الشق السالب لها كما يلي:

1- المعادن الحرة: وتوجد في الطبيعة منفردة ومنها:

أ- الفلزات: ومنها الذهب (Au)، والفضة (Ag) والنحاس (Cu) وتوجد هذه بالعادة في المناطق التي تتأثر بنشاط صهاري.

ب- الكربون: ومنه نوعان حسب ترتيبه البلوري:

الماس والجرافيت، فالماس يتبلور من الصهارة في جوف الأرض تحت ضغط عال، والجرافيت معدن يتكون في الصخور المتحولة.

2- معادن الأكاسيد

يعتبر أكسيد السيليكون (SiO_2) المكون لمعدن الكوارتز أكثر الأكاسيد انتشاراً، ونظراً لتركيبه البلوري الخاص الذي يشبه تركيب السيليكات يصنف عادة مع السيليكات.

ومن الأكاسيد المشهورة كذلك أكاسيد الحديد وهي كما يلي:

أ- معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) [أكسيد الحديد (III)] وهو معدن أحمر من نوع الأنهيدرايت (بلا ماء)، وإن إتحد مع الماء يكون الليمونايت ($Fe_2O_3 . nH_2O$) (هيدرايت) وهو معدن لونه بين الأصفر والبني. وتوجد هذه الأكاسيد مكونة للصخور الرسوبية.

ب- معدن الملجنتيت (Fe_3O_4) وهو معدن لونه أسود يتبلور من الصهارة في درجات حرارة عالية وضغط شديد.

3- معادن الكبريتدات

تعتبر أكثر المعادن الفلزية أهمية من الناحية الاقتصادية ومنها ما يلي: معدن كبريتيد الحديد (IIII) (Fe_2S_3)، ومعدن بيريت النحاس ($CuFeS_2$)، ومعدن الجالينا (PbS) وكل هذه المعادن تتبلور من معادن ساخنة.

4- معادن الكبريتات

ومن أهمها معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) $CaSO_4.2H_2O$ ومعدن الانهيدريت منه $CaSO_4$. وتوجد معادن الكبريتات في الصخور الرسوبية.

5- معادن الكربونات

ومن أهمها معدن الكالسيت ($CaCO_3$) ومعدن الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$. وتوجد معادن الكربونات في الصخور الرسوبية.

6- معادن الهاليدات

تتكون من المعادن التي شقها السالب هو أيون الكلوريد (Cl^-) والبروميد (Br^-) والأيوديد (I^-) والفلوريد (F^-). وأشهر معادن الهاليدات هو معدن الملح الصخري ($NaCl$) ويوجد في الصخور الرسوبية. وأما معادن الهاليدات فتتبلور من المحاليل المائية في الطبيعة.

7- معادن الفوسفات

معادن تتكون من تراكم هياكل الفقاريات، وتشكل هذه المعادن بعض أنواع الصخور الرسوبية ومنها معدن الأباتيت $Ca_5[FeCl_3(OH)] (PO_4)_2$.

8- معادن السيليكات

وهي معادن تتبلور من الصهارة الصخرية ومعظم مكوناتها من الصخور النارية وأكثرها شيوعاً هو معدن الفلسبار البوتاسي ($KAlSi_3O_8$) ومعدن الفلسبار الصودي ($NaAlSi_3O_8$) ومنها أيضاً معادن الأوليفين، ومعادن البروكسين ومعادن

الأمفيبولات. ويعتبر معدن الكوارتز (SiO_2) رغم كونه أكسيداً معدناً من معادن السليكات.

ومما يجدرُ ذكره أن معادن السيليكات تتكون من الصهارة الصخرية المنبثقة من البراكين النشطة، وهي تكون معظم الأطوار الصلبة التي تتبلور في درجات حرارة مختلفة من الصهارة، وكلما قلت درجة حرارة تبلور طور من هذه الأطوار الصلبة زاد تعقيد جزيئات معادن السيليكا الناتجة عن هذا التبلور، وزادت في الوقت نفسه نسبة السيليكا في هذه المعادن.

وتسمى الصخور التي تحتوي نسبة عالية من السيليكات بالصخور الحمْضية، وأما الصخور النارية الفقيرة بالسيليكا فتسمى الصخور القاعدية.

4-2-5 دراسة السيليكات

تعتبر معادن السيليكات أكثر المعادن شيوعاً وانتشاراً في القشرة الأرضية، وتشكل حوالي 90٪ من معادن هذه القشرة، وتتكون معادن السيليكات - كما سبق لك أن عرفت - من الصهارة التي تنبثق من البراكين، ثم تتبلور معادنها في أطوار عديدة تتوقف على درجة حرارة الصهارة.

ويوجد في القشرة الأرضية نوعان من الصخور تبعاً لنسبة السيليكات فيها. وهذان النوعان هما الآتيان:

1- صخور حامضية (سيال)، وهي صخور نارية تكون فيها نسبة السيليكا عالية فقد تصل إلى حوالي 70٪ من وزن الصخر.

2- صخور قاعدية (سيما)، وهي صخور نارية تكون نسبة السيليكا فيها حوالي 60٪ من وزن الصخر.

ويبين الجدول (5-1) بعض أسماء معادن السيليكات، وقد رتْبت حسب مراحل تبلورها من الصهارة الصخرية المنبثقة من البراكين، وبذلك يكون أول المعادن المتبلورة من الصهارة هو الأوليفين وآخرها هو معدن الكوارتز. ويوضح الجدول (5-1) التركيب الكيميائي والشق السابق لهذه المعادن، وأهم خصائص هذه المعادن.

الجدول (5-1)

معادن السيليكات مرتبة حسب تبلورها من صهارة البراكين وأهم خصائصها

اسم المعدن	التركيب الكيميائي	الشق السالب	أهم خصائص المعدن
1-عائلة الأوليفين	$(Fe\text{-}Mg)_2SiO_4$	SiO^{-4}_4	بلوراتها صغيرة وهى أبسط أنواع المعادن وألوانها قاتمة.
2-عائلة البيروكسين	$(Fe\text{-}Mg)_2SiO_3$	SiO^{-4}_3	عائلة كبيرة من المعادن وهى معقدة التركيب وألوانها قاتمة.
3-عائلة الأمنيبول	$Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	$Si_4O^{-6}_{11}$	عائلة كبيرة من المعادن معقدة التركيب وتميل إلى اللون الأسود.
4-عائلة المايكا	$KAl_2(Si_3O_{10})(OH)_2$	SiO^{-4}_{10}	تتميز معادن المايكا بألوانها فمنها السوداء والبيضاء والخضراء، ولها خاصة الانفصام.
5-الكوارتز	SiO_2	-	معادن صافية الألوان أو بيضاء وأحياناً توجد بأي لون.

ومن عائلات معادن السليكات هي مجموعة معادن الفلسبار، وتشبه في تركيبها الداخلي معدن الكوارتز، ولكنها تختلف عن الكوارتز بوجود أيونات من الألمنيوم تحل محل السيليكون، ولذلك فإن لمعادن الفلسبار شق سالب وهذا بخلاف معدن الكوارتز الذي لا شق سالب فيه. وهناك ثلاثة معادن رئيسية تكوّن مجموعة الفلسبار، وهي التالية:

أ- معادن الفلسبار البوتاسي $KAlSi_3O_8$.

ب- معدن الفلسبار الصودي (معدن الألبيت) $NaAlSi_3O_8$.

جـ- معدن الأنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$.

ويقع بين معدن الألبيت ومعدن الأنورثيت سلسلة من المعادن يتراوح تركيبها بين تركيب معدن الألبيت وتركيب معدن الأنورثيت، وتسمى هذه السلسلة من المعادن بمجموعة معادن البلاجيوكلاز وهي تتبلور تدريجياً من الصهارة، وسنتعرف على معادن البلاجيوكلاز لدى دراسة موضوع تتابعات بوين التفاعلية.

سؤال: فسر ما يلي: تعتبر معادن الأوليفينات أول معادن السيليكات التي تتبلور من الصهارة عند درجات الحرارة العالية.

5-2-5 تتابعات بوين التفاعلية

عندما تبدأ الصهارة بالتجمد فإن الأطوار الجامدة لها تتكون في درجات حرارة مختلفة، ولذلك فإن هذه الأطوار تتدرج في تركيبها البلوري (المعدني)، وقد وضح العالم بوين تبلور الصهارة المتدرج بما أسماه التتابعات التفاعلية في الصخور النارية.

وقد قسم هذه التتابعات إلى قسمين وهما التاليان:

1- تتابع تفاعلي متواصل

وهو تتابع التبلور في مجموعة معادن البلاجيوكلاز، وهنا يبدأ التبلور من معدن الأنورثيت وينتهي بمعدن الألبيت. ويسمى هذا التتابع التفاعلي بأنه تفاعل متواصل لأن المعادن التي تتبلور خلاله تكون مراحل مختلفة تتم على صورة سلسلة متواصلة من عمليات التبلور في المحاليل الصلبة، وللمعادن المتبلورة ترتيب بلوري معين وثابت وهو ترتيب مجموعة معادن البلاجيوكلاز، ويوضح الشكل (5-1) التتابع التفاعلي المتواصل.

2- تتابع تفاعلي متقطع

وهو تتابع تفاعلي خاص بمجموعات المعادن التي وردت في الجدول (5-1) (الأوليفين، والبيروكسين والأمفيول).

ويتم التبلور في هذا التتابع على صورة تتابع متقطع مما ينتج عنه معادن لها تركيب معدني متميز لكل معدن، وهذا التركيب المعدني يختلف من معدن إلى آخر.

انظر الشكل (5-3) فهو يوضح التتابعين السابقين المتواصل والمتقطع، وتوجد علاقة بين التتابعين حيث إن المعادن التي تقع على سطر واحد في التتابعين تتبلور معاً وبنفس الوقت من الصهارة.

تتابع تفاعلي متواصل	تتابع تفاعلي متقطع
معدن الانورتيت	معدن الأوليفين
معدن اللابرودايت	معدن البيروكسين - Mg
معدن الأندسين	معدن البيروكسين - Ca
معدن الأوليجيوكليز	معدن الأمنيبول
معدن الألبيت	معدن البيوتيت

زيادة في درجة حرارة التبلور

معادن البلاجيوكليز

معدن الفلسبار - K

معدن المسكوفيت

معدن الكوارتز

الشكل (5-3): تتابعات بوين التفاعلية للصخور النارية.

5-2-6 الخصائص الفيزيائية (الطبيعية) للمعادن

تتوقف الخصائص الفيزيائية للمعادن على تركيبها الكيميائي وتركيبها الذري الداخلي في حالة كون المعادن متبلورة، ولذلك فإن الخصائص الفيزيائية للمعادن المختلفة غير متشابهة وتختلف من معدن إلى آخر ولكنها ثابتة للمعدن الواحد وتميزه عن غيره من المعادن. وكما تساعد معرفة هذه الخصائص بالكشف عن نوعية المعدن بصورة مبدئية، وبعض هذه الخصائص يمكن ملاحظته بالعين المجردة وبعضها يتطلب اللجوء إلى عمليات التحليل الكيميائي، فيتعرف الجيولوجي نتيجة هذا التحليل على الشق السالب والشق الموجب للمعدن ثم يتنبأ بهوية هذا المعدن. ويستعان عادة بالأشعة السينية وبالمجهر المستقطب للكشف عن هوية بلورة المعدن حيث تفيد في تحديد البلورة وبالتالي الكشف عن المعدن.

وسنعالج في هذا الموضوع بعض الخصائص الفيزيائية للمعادن وهي كما يلي:

أولا: الخصائص البصرية أو الضوئية للمعادن

ومجموعة هذه الخصائص تعتمد على سلوك المعدن عندما يسقط على بلوراته الأشعة الضوئية، ومن هذه الخصائص الضوئية ما يلي:

ا- خاصية اللون

ينتج لون المعدن عن قدرته على عكس نوع معين من الموجات الضوئية (أطياف الضوء)، وامتصاص الموجات الضوئية الأخرى التي تكون الضوء الأبيض العادي. فيظهر لون المعدن الأحمر إذا كان يعكس الموجات الحمراء ويمتص جميع الأطياف الضوئية الأخرى المكونة للأشعة الضوئية العادية (البيضاء). ويظهر لون المعدن أسوداً إذا كان لا يعكس أي موجة (طيف) ضوئية أو يمكن أن يعكسها بكمية ضئيلة جداً. ويبدو اللون أبيضاً إذا عكس جميع الموجات الضوئية.

ويعتبر لون المعدن من أهم الخصائص الفيزيائية التي يمكن الاستفادة منها في تحديد هوية بعض المعادن ثابتة اللون. وأحياناً يصعب الاعتماد على خاصية اللون لوحدها لتحديد هوية المعدن، لأن بعض المعادن قد تتغير ألوانها، فعلى سبيل المثال، إن لمعدن الكوارتز لون شفاف أو أبيض ويتغير إلى اللون الوردي أو البنفسجي، وذلك بسبب وجود الشوائب المختلفة معه. ويمكن تقسيم المعادن على أساس لونها إلى ثلاثة أنواع وهي التالية:

أ- المعادن أصلية اللون

ومن أمثلتها الكروم، الذهب، الكوبالت، النيكل وتتميز بألوان محددة ثابتة نتيجة تركيبها الداخلي.

ب- المعادن متغيرة اللون

ويعزى تعدد أو اختلاف اللون في مثل هذه المعادن إلى وجود شوائب بها تختلط ضمن تركيبها الظاهري، ولا يعتبر وجودها أساسياً في تركيب المعدن ومن أمثلة المعادن المتغيرة اللون هو معدن الكوارتز كما أسلفنا في الفقرة السابقة.

جـ- المعادن كاذبة اللون

وهذه المجموعة من العناصر تعكس بلورة المعدن الواحد منها ألواناً مختلفة مثل الأزرق أو الأصفر أو الأحمر وتنتج هذه الألوان بسبب انعكاس الضوء على سطح المعدن نتيجة وجود شوائب فيه، ومن أمثلة هذا النوع من المعادن هو معدن اللابرودايت.

وكنتيجة لتغير ألوان المعادن وعدم ثباتها للأسباب التي ذكرت بأعلى فإن الفاحص يلجأ إلى الكشف عن خاصية أخرى ترتبط بلون المعدن وهي خاصية المخدش.

2- خاصية المخدش

ويقصد بمخدش المعدن بأنه لون مسحوق المعدن الناتج من نتيجة حكّه بقطعة من الخزف غير المصقول (البورسلين)، فتترك عملية الحك أثراً على قطعة الخزف يمكّن من معرفة المعدن. ويمكن بواسطة المخدش معرفة أو الكشف عن أكاسيد الحديد المختلفة. فعلى سبيل المثال، إن لمعدن الحديد الليمونايت وهو أكسيد الحديد المائي مخدشاً بنياً، ومعدن الهيماتيت وهو أكسيد الحديد اللامائي يكون مخدشة أحمر داكن اللون.

3- خاصية البريق

وهو مظهر سطح المعدن عندما تنعكس عليه أشعة الضوء العادي، ويتوقف بريق المعدن في نوعه وشدته على نوع ومقدار الإشعاعات الضوئية المنعكسة عن سطحه. وتبعاً لخاصية البريق تقسم المعادن إلى قسمين وهما:

أ- معادن لها بريق معدني مثل الذهب وبعض معادن الحديد والجالينا.

ب- معادن ليس لها بريق معدني؛ فبعض المعادن لها بريق زجاجي مثل معدن الكوارتز والكالسيت وبعضها لها بريق شمعي مثل معدن الكبريت، وبعضها الآخر لها بريق ماسي مثل الماس، ولبعض المعادن بريق لؤلؤي مثل معدن الميكا.

4- خاصية الشكل

عندما يكون المعدن جيد التبلور تتيسر رؤية الأسطح البلورية التي تميز بلورة المعدن. وهذه الصفة تميز جميع المعادن ويمكن استخدامها للكشف عن المعدن. ويستخدم للكشف عن شكل المعدن تقنيات وهما:

أ- الأشعة السينية   ب- المجهر المستقطب.

5- خاصية التضوء (التألق)

تتميز بعض المعادن بقدرتها على تحويل الطاقة الساقطة عليها إلى ضوء، ومن أمثلة الطاقة الساقطة هي الطاقة الاحتكاكية وطاقة الأشعة فوق البنفسجية والطاقة السنية، وبذلك يظهر المعدن متألقاً وهاجاً ذا لون باهر يختلف عن لونه الأصلي قبل تعرضه للمؤثر الخارجي. فعلى سبيل المثال، يتألف معدن الكالسيت بلون أحمر وهاج إذ تعرض للأشعة فوق البنفسجية وكذلك الحال عند دلك قطعتي كوارتز في مكان مظلم فإنهما يشعان ضوءاً متألقاً.

ثانيا: الخصائص التماسكية للمعدن

تعتمد مجموعة هذه الخصائص على التركيب البلوري للمعدن، وهذه خصائص ثابتة للمعدن الواحد ومميزة له عن غيره. ومجموعة هذه الخصائص هي الصلابة والتشققية والمكسر.

1- خاصية الصلابة (الصلادة)

ويقصد بها مقدار المقاومة التي يبديها سطح مصقول إزاء الخدش وهذه خاصية هامة في تمييز المعادن. فالمعادن الأكثر صلابة (صلادة) تخدش المعادن التي هي أقل صلابة منها. ويمكن قياس صلابة المعدن المراد الكشف عنه بمعدن آخر له درجة صلابة معروفة، فإذا خدشه يكون أقل صلابة من المعدن الذي خدشه. ويتوفر مقياس خاص لصلابة المعدن رتبت فيه العناصر ترتيباً تصاعدياً، يسمى مقياس موه الصلابة (Moh's Scale of Hardness) كما يبينه الجدول (5-2).

الجدول (5-2): مقياس موه لدرجات صلابة المعادن

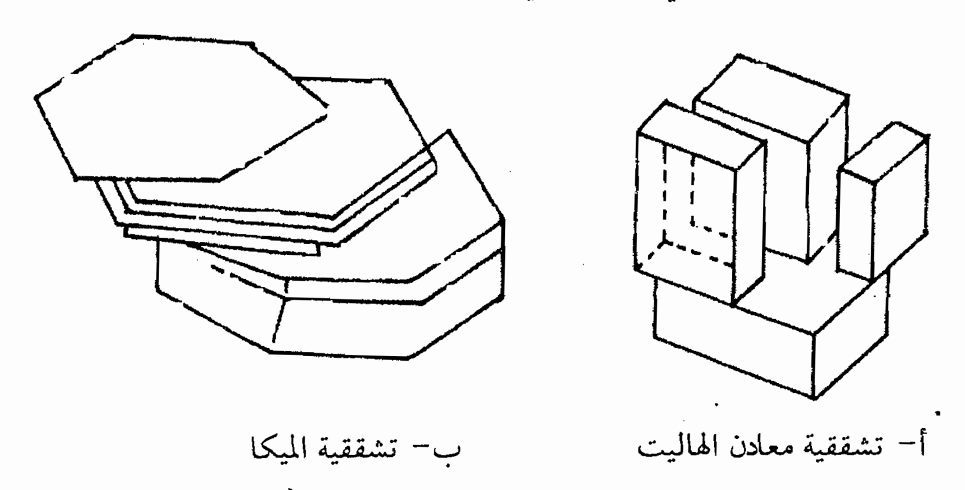
المعدن	درجة الصلابة	المعدن	درجة الصلابة
التلك	1	الجبس	2
الكالسيت	3	الفلسبار	4
الهيماتيت	5	الأورثوكلاز	6
الكوارتز	7	التوباز	8
الياقوت	9	الماس	10

ويجب اختيار رأس حاد من المعـدن الأول (الخـادش) ووجـه واضـح للمعـدن الثاني لإجراء الخدش، ومن ثم نفحص الخدش بواسطة العدسة المكبرة.

ومن المعروف أن درجة صلابة ظفر الإنسان تقدر بحـوالي (2.5) أي تقـع بـين درجة صلابة معدني الجبس والكالسيت. ولكن ظفر الإنسان لا يخدش الكالسـيت. ولذلك يستخدم ظفر الإنسان للتميز بين معدني الجبس والكالسيت، (فسـر كيـف يمكن التمييز بين المعدنين؟). وأما السكين العادية فتبلغ درجة صلابتها بـين (4-5) ولذلك فهي لا تخدش الزجاج (الزجاج يشبه الكوارتز بدرجة الصلابة)، أمـا المـاس فإنه يخدش الزجاج (لماذا؟).

2- خاصة التشققية (الانفصام)

وهي خاصية تقشر أو انقسام بعض المعادن المتبلورة في اتجاهـات (مسـتويات) منظمة ومتوازية إذا ما طرقت طرقاً خفيفاً، وتسمى مثـل هـذه الاتجاهـات مسـتويات الانفصام. فعلى سبيل المثال، إن معدن المايكا يتشقق إلى صفائح رقيقة جـداً في اتجـاه واحد انظر الشكل (5-4). وهذه التشـققية للمايكـا تعـود إلى أن جزيئـات معـدن المايكا ضعيفة التماسك في الاتجاه الذي يكون موازياً لقاعدة البلورة المكونة للمعدن.



أ- تشققية معادن الهاليت   ب- تشققية الميكا

شكل (5-4) تشققية بعض المعادن

3- خاصية المكسر

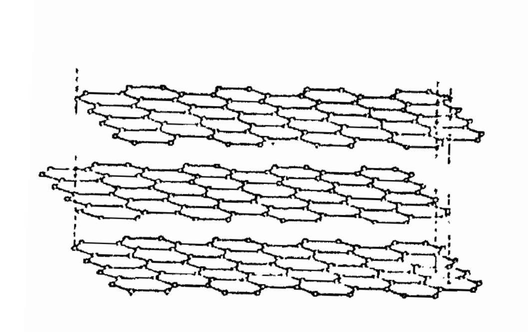
يقصد بالمكسر بأنها شكل السطح الناتج عن كسر المعدن، وهذه الخاصية توجد في بعض المعادن وخاصة المعادن غير المتبلورة. فعلى سبيل المثال، يظهر مكسر معدني الكوارتز والصوان سطحاً تظهر فيه خطوطاً مقوسة تشبه الخطوط التي تظهر على صدفة المحار فيقال أن مكسرهما محاري. وأحياناً يبدو شكل السطح خشناً أو ناعماً فيقال أن مكسر المعدن خشناً أو ناعماً.

ثالثا: الوزن النوعي

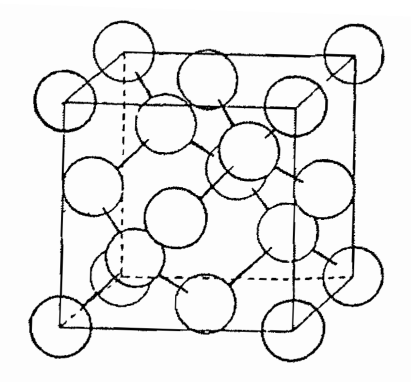
يعرف الوزن النوعي للمادة بأنه نسبة وزن حجم معين من المادة إلى وزن حجم مساوٍ من الماء المقطر عند درجة حرارة 4^0م، وبعبارة أخرى يمكن تعريفه بأنه النسبة بين كثافة المادة إلى كثافة الماء المقطر. ويعتبر الوزن النوعي للمعدن خاصة هامة تستخدم لتحديد هويته؛ وللمعدن الواحد فإن قيمته ثابتة عند ثبوت درجة الحرارة والتركيب الكيميائي للمعدن.

وتتوقف قيمة الوزن النوعي للمعدن على كل من التركيب البلوري والتركيب الكيميائي له. وتبعاً للتركيب البلوري للمعدن، فإن الوزن النوعي يتغير تبعاً لتراص الذرات ضمن جسم البلورة أو الشبكة البلورية للمعدن، فعلى سبيل المثال، تبلغ قيمة الوزن النوعي للماس 3.5 وللجرافيت 2.2، وللمعدنين نفس التركيب الكيميائي، فكلاهما من الكربون المبتلور، ويعود سبب الاختلاف في الوزن النوعي لهما إلى أن بلورة الماس من فصيلة المكعب وتزدحم فيها الذرات بينما هي من النظام السداسي للجرافيت. انظر الشكل (5-5).

والعامل الآخر الذي يؤثر في قيمة الوزن النوعي هو التركيب الكيميائي، فعلى سبيل المثال، تختلف معادن عائلة البيروكسين بالوزن النوعي تبعاً لتغير التركيب الكيميائي لها، ويعود سبب الاختلاف إلى اختلاف الأعداد الكتلية لهذه المعادن.



الشبكة البلورية للغرافيت



الشبكة البلورية للماس

الشكل (5-5): الشبكة البلورية لكل من الماس والجرافيت

ويمكن إيجاد الوزن النوعي للمعدن بحسابه من المعادلة التالية:

$$\text{الوزن النوعي للمعدن} = \frac{\text{وزن قطعة من المعدن في الهواء}}{\text{وزن القطعة في الهواء} - \text{وزن نفس القطعة في الماء}}$$

رابعا: خصائص فيزيائية أخرى

وللمعادن خصائص أخرى تميز بعضها عن بعض، فعلى سبيل المثال، يتميز معدن الملجنتيت دون غيره من المعادن بتأثره بالمغناطيسية حيث أن له قدرة على جذب برادة الحديد والتأثير في الأبرة المغناطيسية. ويتميز معدن الفوسفات بأنه له رائحة خاصة مميزة، وأيضاً لمعدن الملح الصخر مذاق ملحي.

ويبين الجدول (5-3) بعض الخصائص الطبيعية (الفيزيائية لبعض المعادن المشهورة.

الجدول (5−3) : الخواص الفيزيائية لبعض المعادن المشهورة.

اسم المعدن	التركيب الكيميائي	القساوة	الكثافة	البريق	اللون	المخدش	ملاحظات
معادن سليكاتية							
الكاولين	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	2	2.5	ترابي	أبيض	أبيض	ينتج من عمليات تجوية الجرانيت
المايكا البيضاء	$KAl_2(AlSiO)_{10}(OH,F)_2$	2.5	2.85	زجاجي	عديم اللون بني فاتح	أبيض	يوجد فى كثير من الصخور النارية والمتحولة مثل الجرانيت والشيست
الأوليفين	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	6.5	3.4	زجاجي	أخضر	أخضر باهت	المعدن الأساسى لصخر البيريدوتايت
الأورثوكليز	$KAlSi_3O_8$	6	2.56	زجاجي	أبيض زهري	أبيض	شائع فى الصخور الإندفاعية الحامضية والصخور المتحولة
الكربونات							
أرجونايت	$CaCO_3$	3	294	زجاجي	أبيض	أبيض	يوجد فى الصخور الرسوبية يتحول إلى كالسايت عندما يستقر
كالسايت	$CaCO_3$	3	2.7	زجاجي	عديم اللون	أبيض	شائع جداً فى الصخور الرسوبية
دولومايت	$CaMg(CO_3)_2$	4−3.5	2.85	زجاجي	أبيض محمر قليلاً	أبيض	يوجد فى الصخور الرسوبية
مالكايت	$Cu_2CO_3(OH)_2$	4−3.5	4	حريري	أخضر فاتح	أخضر فاتح	أحد خامات النحاس الشهيرة

الكبريتات							
الجبس	$CaSO^2{}_4.H_2O$	2	2.3	زجاجي	عديم اللون أبيض	أبيض	يكون صخر الجبس المعروف وهو من التبخريات
الأكاسيد							
هيماتايت	Fe_2O_3	5.5	5.2	معدني	أحمر – بني	أحمر	أهم خامات الحديد
ليمونايت	$Fe_2O_3.FeO(OH)_2$	5.5	4	تحت معدني	أصفر – بني	أصفر	ينتج من تجوية معادن الحديد
كوارتز	SiO_2	7	2.65	زجاجي	عديم اللون	أبيض	يوجد حرا في الصخور الاندفاعية الحامضية مثل الجرانيت
عناصر حرة							
الذهب	Au	3−2.5	19.3	فلزي	أصفر لامع	أصفر	ينتشر في عروق الكوارتز النارية بعد ترسبه من المحاليل النارية
الماس	C	10	3.5	ماسي	شفاف	أبيض	يتواجد في الصخور النارية القاعدية مصاحباً لكثير من المعادن
الكبريت	S	2.5	2.09	صمغي	أصفر شفاف	أصفر باهت	يتواجد في الفوهات البركانية أو في الصخور الرسوبية

5-3 دراسة البلورات

5-3-1 تعريف البلورة

لقد سبق لك أن عرفت أن المعادن توجد بأشكال بلورية تسمى البلورات. وتعرف البلورة بأنها جسم صلب لها شكل هندسي منتظم محاط بواسطة سطوح طبيعية مستوية تسمى وجوهاً تلتقي مع بعضها بواسطة حروف ورؤوس، وتعكس البلورة حالة الترتيب الداخلي المنتظم للذرات، أو الأيونات، أو الجزيئات التي ترتبط إلى بعض بشكل هندسي يعيد نفسه في اتجاهات (أبعاد) ثلاثة في الفراغ.

يتميز كل نوع من أنواع البلورات بوضع وأبعاد الوجوه البلورية. وتعزى هذه الصفات إلى أسباب تعود في معظمها إلى البنية الداخلية للبلورة أو إلى انتظام الذرات المكونة للبلورة في شكل هندسي معين. وتبعاً لذلك يهتم علماء علم البلورات بالبنية الداخلية للبلورة التي ينجم عنها أوضاع الوجوه البلورية التي تؤدي إلى انتظام الشكل الخارجي للبلورة.

ويعود إلى الانتظام البلوري للبلورة معظم الخصائص الفيزيائية للمعادن مثل الخصائص التماسكية والفيزيائية كالصلابة واللون والتألق وما إلى ذلك. وتتحدد هذه الخصائص الفيزيائية وأيضاً الخواص الكيميائية للمعادن في ضوء البنية الذرية الداخلية والتركيب الكيميائي لبلورات المعادن. فعلى سبيل المثال، يختلف الماس عن الجرافيت بخواصه الفيزيائية، بالرغم من أن المعدنين من تركيب كيميائي واحد وهو الكربون ويعود السبب إلى اختلاف البنية الذرية لهما.

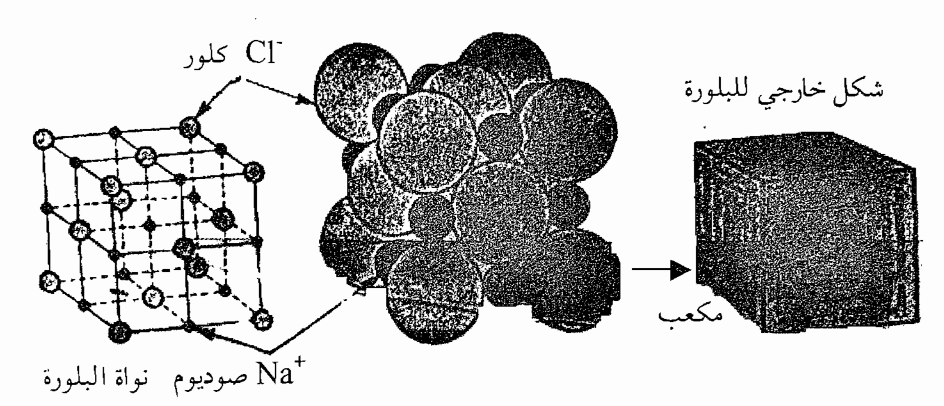
وتنمو البلورات كاملة الأوجه في الطبيعة إذا توفرت لها عدة عوامل، ومن هذه العوامل ما يلي:

1 - أن يتاح للأيونات داخل المحلول أو الصهير حرية الحركة لكي تتمكن من الاقتراب بعضها إلى بعض؛ وتتشكل البلورة الكاملة من الأعداد الصحيحة من الأيونات التي تشكل الانتظام البلوري للمعدن.

2- أن تكون الظروف السائدة مناسبة داخل المحلول أو الصهير من ناحية الضغط ودرجة الحرارة والتركيز لكي يتاح للبلورة النمو بشكل بطيء ومتواصل.

وفي المختبر يمكن تحضير بلورات معدن ملح الطعام (الملح الصخري) من تفاعل الصوديوم مع الكلور فيتكون جزيء كلوريد الصوديوم المتأين (Na^+Cl^-). ويلي ذلك مباشرة تجمع ستة جزيئات منه لتكوين نواة (واحدة) جسم البلورة التي تأخذ بالنمو التدريجي بعد ذلك. انظر الشكل (5-6).

$$2Na(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2Na^+Cl^- \rightarrow$$ نواة البلورة



الشكل (5-6): تكون جزيء معدن كلوريد الصوديوم ونواة البلورة ثم بلورة هذا المعدن.

وكما يوضح الشكل (5-6)، فإن بلورة معدن ملح الطعام تترتب فيها الأيونات الموجبة (Na^+) والأيونات السالبة (Cl^-) بحيث يحيط بكل أيون صوديوم موجب ستة أيونات كلوريد سالبة، ويحيط بكل أيون كلوريد سالب ستة أيونات صوديوم موجبة.

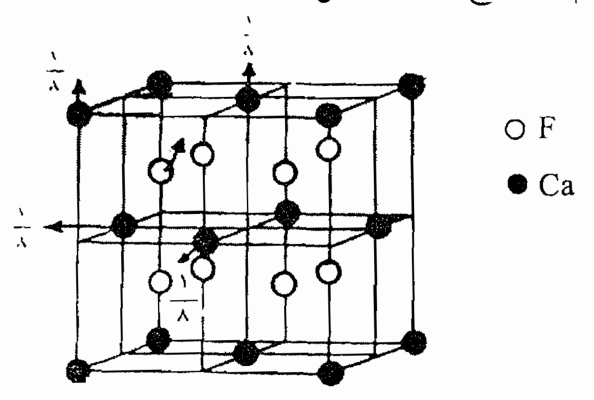
وخلاصة القول، فقد تبين لك أنه في البلورة تترتب الأيونات أو الذرات أو الجزيئات ترتيباً منتظماً يساعد على نمو الأسطح البلورية للمعدن بشكل واضح ومميز، وبالتالي فإن المادة المتبلورة ذات بناء داخلي منتظم وتترتب أوجهها في نظام هندسي معين، ويمكن الكشف عن هذا النظام باستخدام التقنيتين التاليتين:

1- الأشعة السينية 2- المجهر المستقطب الضوئي

وكما تبين لك فإن لكل معدن من المعادن شـــكل بلـوري مميز تبعـاً لارتبـاط ذرات المعدن أو أيوناته أو جزيئاتــه، ووفقـاً لطبيعـة القـوى بـين هـذه الأيونـات أو الذرات أو الجزيئات، وقد استخدم النظام (البنية) البلورية للمعـادن للكشـف عـن هذه المعادن وتحديدها.

مثال: بلورة معدن فلوريد الكالسيوم $Ca^{2+}F^{-}_2$

تترتب الأيونات الموجبة (Ca^{2+}) والأيونـات السـابقة (F^-) في البلـورة بحيـث تحيط بكل أيون كالسيوم ثمانية أيونات فلوريـد، ويحيـط بكـل أيـون فلوريـد أربعـة أيونات من الكالسيوم، أي يبلغ عدد أيونات الفلوريد في البلورة ضعف عدد أيونات الكالسيوم، ويوضح ذلك الشكل (5-7).



الشكل (5-7): بلورة معدن فلوريد الكالسيوم

ترتيب الـذرات في بلـورة مـن فلوريـد الكالسـيوم CaF_2 حيـث أن كـل ذرة كالسيوم يناظرها ذرتان من الفلورين. ويكون ذلك واضحاً إذا رأينـا أنـه يخـص كـل مكعب في الشكل المبين $4 \times \frac{1}{8} = \frac{1}{2}$ أيون من أيونات الكالسيوم وأيونا واحداً مـن أيونات الفلورين.

ويلاحظ مما سبق ذكره أن شكل البلورة يتحدد بترتيب الأيونـات أو الـذرات أو الجزيئات في أبعاد أو اتجاهات ثلاثـة، ويتحـدد هـذا الـترتيب بوجـود أبعـاد بـين

الأيونات بعضها إلى بعض في جسم البلــورة. وفي مثـال بلـورة فلوريـد الكالسـيوم السابق تكون هذه الأبعاد متساوية.

وأما عن نوع الارتباط بين الذرات أو الأيونات أو الجزيئات في جسم البلـورة فقد يكون من النوع الأيوني أو التشاركي أو المعدني أو قوى فان دي فال.

وفي الطبيعة توجد بلـورات واضحـة وكاملـة النمـو للمعـادن علـى جـدران الشقوق الصخرية، وكذلك الفجوات وتتكون هذه البلورات بفعل ذوبان المعادن في الماء لتكون محاليل مائية تتبلور منها بلـورات هـذه المعـادن عـن طريـق ترسـبها مـن المحاليل المائية، أو أحياناً عن طريق تكاثف الأبخـرة المتصـاعدة والمحـاليل الحـارة. كمـا تنمو بعض أنواع البلـورات عنـد التـبريد البطـيء للصـهير الصخـري أو الماغمـا المنبثقة من البراكين.

5-3-2 الخصائص الهندسية للبلورات

عند دراسة بلورة معينة تلاحظ أنه يمكن أن نميز بين نوعين من العناصر الـتي تحدد الخصائص البلورية وهما عناصر الشكل وعناصر التماثل [درجة التماثل].

أولا: عناصر الشكل

يتحدد الشكل الخارجي لبلورة ما بعدد من العنـاصر أو المصطلحـات الدالـة على الشكل وهي الوجوه والحروف والرؤوس وقياسات الزوايا والتماثل البلـوري. وتعتبر قياسات الزوايا بين الوجوه البلورية هي من العناصر المهمة من بين العناصر السابقة، وذلك لثباتها بالنسبة لمعدن ما متبلـور. فقـد يتوافـر لنـا بلورتـان (أو عـدة بلورات) من معدن واحد مختلفين بالشكل الخـارجي الظـاهري كـأن تكـون الوجـوه والحروف مختلفة إلا أن قياسات الزوايا بين الوجوه تبقى متساوية. فعلى سبيل المثال، نشاهد في معدن الكوارتز (SiO_2) مجموعة مـن البلـورات تختلـف بالمقـاييس، إلا أن المشاهدات تؤكد تشابه قياسات الزوايا بين الوجوه. وبكلمـات أخـرى، إن بلـورات الكوارتز لا تختلف عن بعضها إلا من حيـث كـبر أو صغـر وجوهـها، أمـا قياسـات الزوايا فتبقى ثابتة ومقدارها 120^0.

أ- الوجوه البلورية

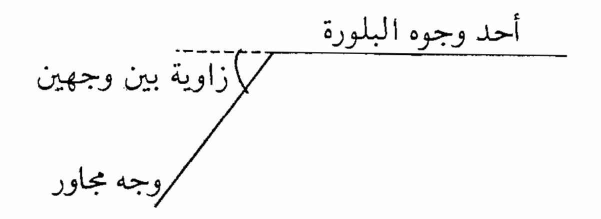
وهي أسطح مستوية تحدد الشكل الخارجي للبلورة وتعين شكلها الهندسي. وتمثل الوجوه البلورية الترتيب الداخلي للذرات ضمن البنية البلورية، ونتيجة لبعض العوامل والظروف الكيميائية والفيزيائية والظروف التي تحيط بعملية تبلور أو نمو البلورات فقد تنعدم بعض الوجوه أو تتكون الوجوه بصورة كاملة، ولذا توصف البلورة بأنها كاملة الوجوه إذا كانت وجوهها مكتملة التكوين، أو تكون ناقصة الوجوه إذا ظهرت أجزاء من الوجوه ولم يكتمل تكونها نتيجة لاختلال بعض الظروف الضرورية لنمو البلورة.

ب- حروف البلورة

تتكون حروف البلورة أو حدودها من تقابل وجهين بلوريين متجاورين في البلورة.

جـ- الزوايا بين الوجوه

وتنتج الزاوية بين وجهين من تلاقي وجهين بلوريين، وتقدر بقيمة الزاوية المكملة للزاوية المحصورة بين وجهين بلوريين، ومقدارها ثابت للمعدن الواحد ومنها يمكن اكتشاف هوية المعدن.



د- التماثل (التناسق البلوري)

إن دراسة الأوجه البلورية والأحرف والزوايا البلورية يفيد بأن هناك ترتيباً خاصاً لأوضاع هذه البلورة، ويخضع هذا الترتيب لقواعد معينة ثابتة. ويسمى الترتيب المنظم للأحرف والأوجه والزوايا البلورية بمصطلح التماثل(التناسق) البلوري. ويستخدم التناسق أو التماثل البلوري في تصنيف بلورات المعادن المختلفة إلى فصائل (مجموعات، نظم) بلورية تبعاً لبنية البلورة.

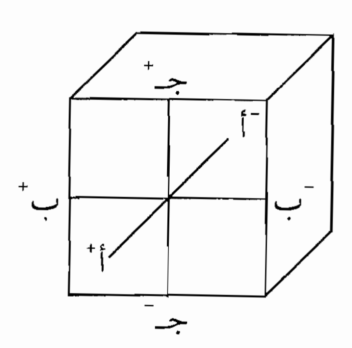
ويستخدم لدراسة التناسق البلوري ثلاثة محاور وهي الآتية:

المحور أ أو أ+ أ- يكون أفقياً باتجاه المشاهد.

المحور ب أو ب+ ب- يكون أفقياً وموازياً للمشاهد.

المحور جـ أو جـ+ جـ- يكون رأسياً ومارأً في وسط البلورة.

وفي حالة المكعب: تكون هذه المحاور متساوية ومتعامدة وتختلف أطوالها وميلها في بلورات المعادن الأخرى. أنظر الشكل (5-8).



الشكل (5-8): محاور البلورة

5-3-3 فصائل البلورات

تبين من دراسة البلورات المعدنية المتوافرة في الطبيعة أنه يمكن تقسيمها إلى سبعة أشكال بسيطة تدعى الفصائل أو المجموعات أو النظم البلورية، وذلك بالاستناد إلى المحاور البلورية للبلورة. وعادة يؤخذ بالاعتبار لدى الاهتمام بالمحاور البلورية ثلاث خصائص لهذه المحاور، وهي التالية:

1- عدد المحاور

يبلغ عدد المحاور في جميع الفصائل البلورية ثلاثة محاور، ما عدا فصيلة السداسي فإن لها أربعة محاور. وأما المحاور البلورية الثلاثة فهي؛ محور أ(أ+أ-)، ومحور ب (ب+ب-)، ومحور جـ (جـ+جـ-).

2- اتجاهات المحاور

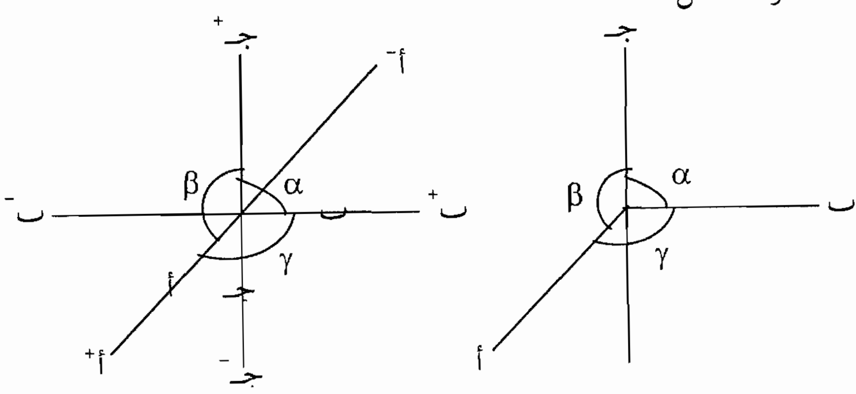
تتقاطع المحاور البلورية في مركز البلورة وتحصر بينها زوايا تعرف بالزوايا المحورية وهي ثلاث زوايا كما يلي:

أ- زاوية ألفا (α): وهي محصور بين المحورين ب، جـ.

ب- زاوية بيتا (β): وهي محصورة بين المحورين جـ أ.

جـ- زاوية جاما (γ): وهي محصورة بين المحورين أ، ب.

انظر الشكل (5-9)



الشكل (5-9): المحاور البلورية

3- أطوال المحاور

تتساوي أطوال المحاور في بعض الفصائل البلورية وتختلف في فصائل أخرى.

ثانيا: عناصر التماثل

إن عناصر التماثل أو درجة التماثل البلوري ثابتة للمعدن الواحد، ولكنها تختلف من بلورة معدن إلى بلورة معدن آخر. وتعرف عناصر أو درجة التماثل للبلورة باستخدام ثلاثة عناصر، هي الآتية:

1- محور التماثل

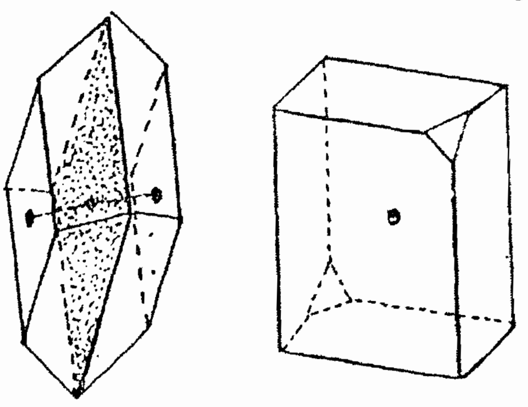
خط وهمي يمر بمركز البلورة وتدور عليه بشرط أن يتكرر ظهور وجه أو حرف أو زاوية مجسمة مرتين أو أكثر خلال دورة واحدة.

2- مستوى التماثل

مستوى وهمي يقسم البلورة إلى قسمين أو نصفين متساويين ومتشابهين بحيث يكون أحد النصفين صورة مرآة للنصف الآخر.

3- مركز التماثل:

نقطة وهمية مركزية في البلورة تترتب حولها الأوجه البلورية والأحرف والزوايا في أوضاع متماثلة وفي اتجاهين متضادين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة. انظر الشكل (5-4).



الشكل (5-4) يرى مركز التماثل في بلورة من معدن الجبس

5-3-3 الفصائل البلورية

وسنذكر فيما يلي بلختصار الفصائل البلورية السبعة:

1- فصيلة المكعب

تشمل هذه الفصيلة جميع الأشكال البلورية التي تتميز بمحاور بلورية متساوية الطول ومتعامدة. وبذلك تكون العلاقة بين أطوال المحاور كما يلي:

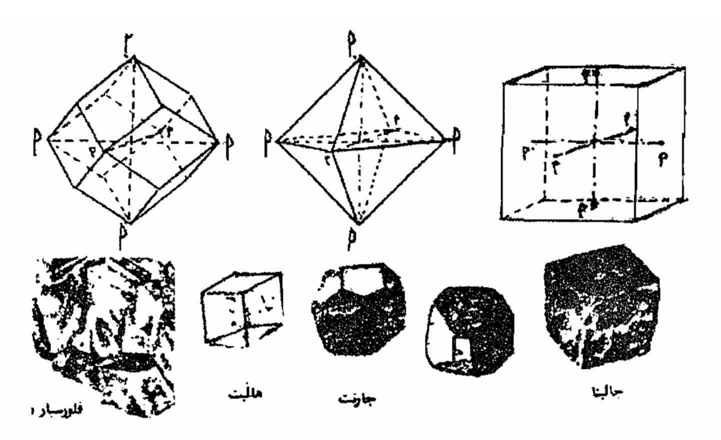
أ = ب = جـ

والعلاقة بين الزوايا كما يلي:

$90^0 = \gamma \measuredangle = \beta \measuredangle = \alpha \measuredangle$

ومن أمثلة هذا النظام البلوري هو بلورات المعادن التالية:

معدن الملح الصخري (Na^+Cl^-) ومعدن فلوريد الكالسيوم ($Ca^{+2}F^{-1}{}_2$) ومعدن الجالينا ($Pb^{+2}S^{2-}$)، ويمثل الشكل (5-7)، (أ، ب) فصيلة المكعب وأمثلة من المعادن والمشهورة على هذه الفصيلة.



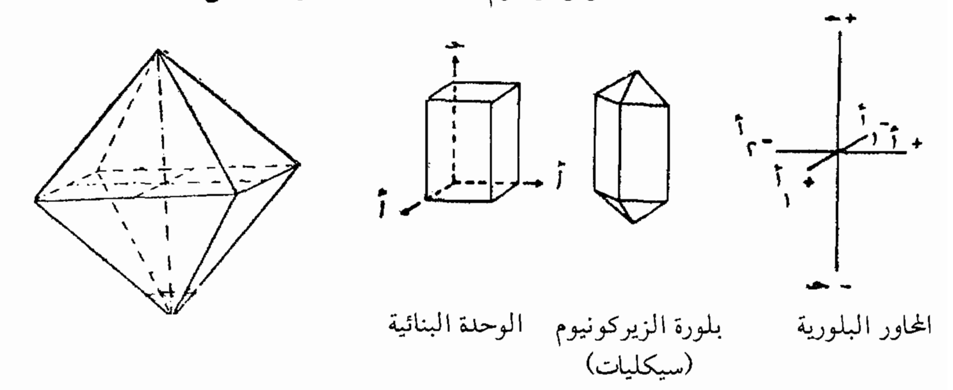
الشكل (5-7): بلورات تتبع فصيلة المكعب

2- فصيلة الرباعي

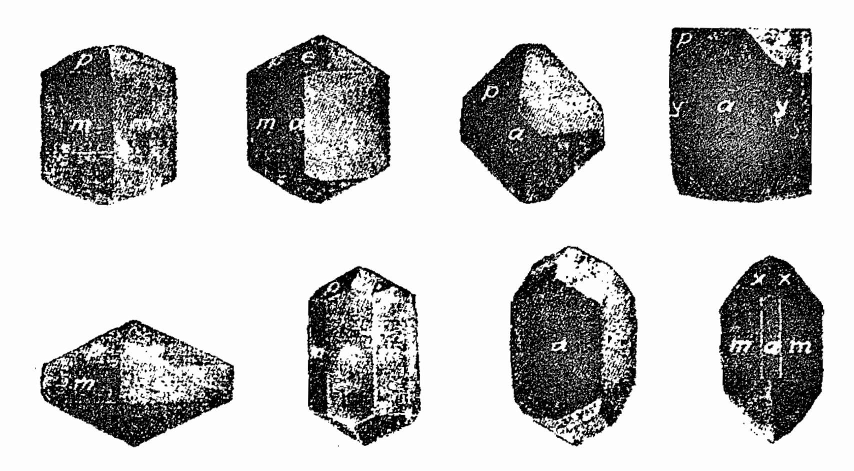
ويشمل هذا النظام أنظمة البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور إثنان منهما متساويان (أ، ب) والمحور (جـ) أقصر منهما. أي أن أ = ب ≠ جـ والمحاور البلورية الثلاثة متعامدة أي

$$90^0 = \gamma \measuredangle = \beta \measuredangle = \alpha \measuredangle$$

ومن الأمثلة على هذه الفصيلة هي بلورات معدن بيريت النحاس ($CuFeS_2$) ومعدن سليكات الزيركونيوم ($ZrSiO_4$). انظر الشكل (5-12).



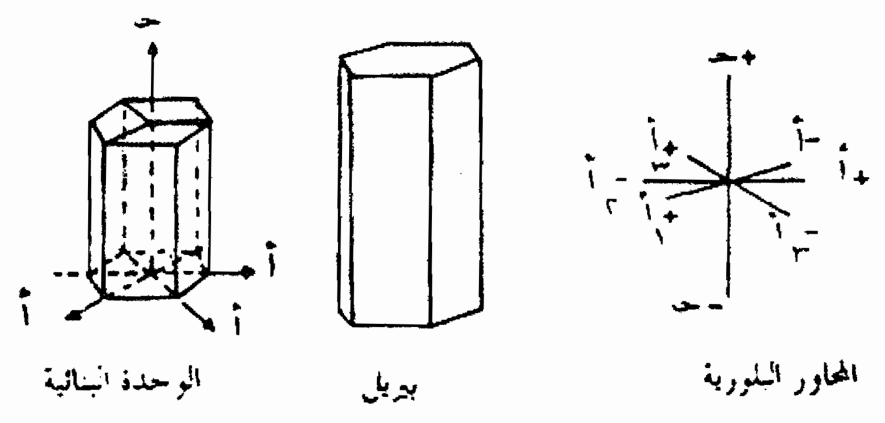
الشكل (5-12): فصيلة الرباعي



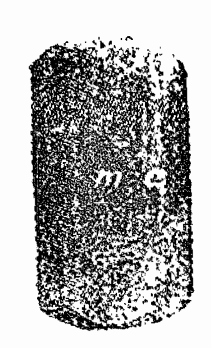
الشكل (5–13): بعض البلورات من الطبيعة تمثل فصيلة الرباعي

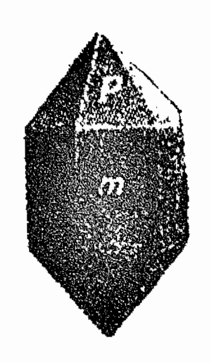
3- فصيلة السداسي

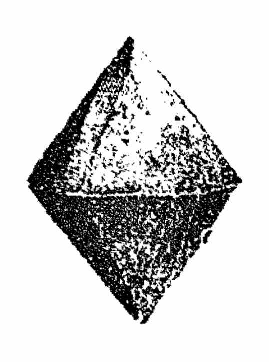
وتشمل هذه الفصيلة البلورات التي تحتوي على أربعة محاور منها ثلاثة محـاور متساوية في الأطوال تقع في مستوى أفقـي وتتقـاطع مـع بعضـها في زوايـا متسـاوية مقدارها 60^0. وتسمى هذه المحاور أ$_1$ أ$_2$ أ$_3$ ، وأما المحور الرابع فهو المحور الرأسـي حـ الذي قد يكون أقصر أو أطول من المحاور الأفقية ويتعامد مـع مسـتواها. ويتبلـور في هـذه الفصيلـة معـدن الكوارتـز (SiO_2) ومعـدن المايكـا ومعـدن الأبتيـت ومعـدن الجرافيت. انظر الشكل (5–14).



الشكل (5–14): بلورة فصيلة السداسي



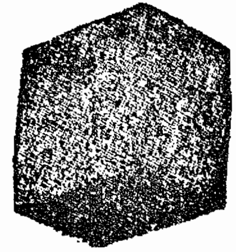




الشكل (5-15): بعض البلورات من الطبيعة من فصيلة السداسي

د- فصيلة المعيني (الثلاثي)

ويمثل شكلها الرئيسي جسم مؤلف من معيني الوجوه. ويتبلور في هذه الفصيلة معدن الكالسيت ($CaCO_3$) ومعدن الدولومايت ($CaMg(CO_3)_2$) ومعدن الهيماتيت (Fe_2O_3). انظر الشكل (5-16).



الشكل (5-16): معيني الوجوه

ومن مميزات هذه الفصيلة ما يلي:

أولاً: أ = ب = جـ

ثانياً: $\measuredangle\alpha = \measuredangle\beta = \measuredangle\gamma = 90^0$

5- فصيلة المعيني القائم

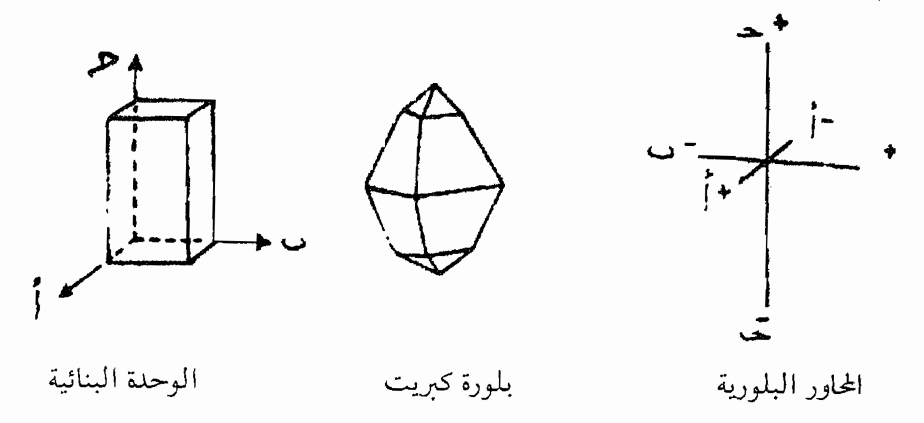
تتميز هذه الفصيلة بوجود ثلاثة محاور بلورية مختلفة الأطوال ومتعامدة بعضها إلى بعض.

أي أن: أ ≠ ب ≠ جـ

و $\measuredangle\alpha = \measuredangle\beta = \measuredangle\gamma = 90^0$

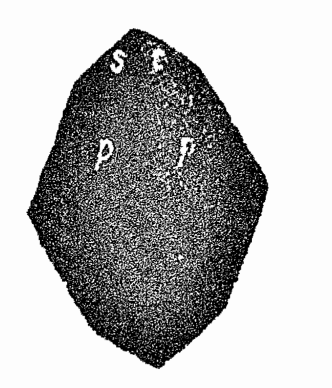
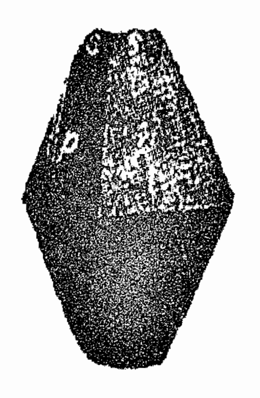
ومن الأمثلة على هذه الفصيلة تبلور معدن التوباز ومعدن الباريت ومعدن الأوليفين ومعدن الكبريت. انظر الشكل (5-17).

والشكل (5-18) يمثل أمثلة من بلورات من الطبيعة تمثل فصيلة المعيني القائم.



الوحدة البنائية　　بلورة كبريت　　المحاور البلورية

الشكل (5-17): فصيلة المعيني القائم

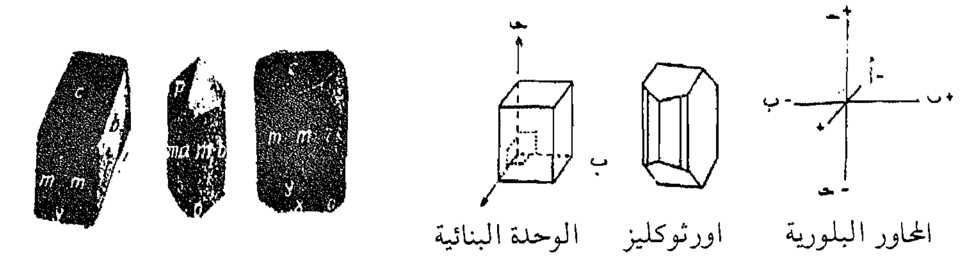
الشكل (5-18): أمثلة من البلورات من الطبيعة على فصيلة المعيني القائم

6- فصيلة أحادي الميل

تتميز بلورات هذه الفصيلة بأن المحاور الثلاثة مختلفة الأطوال، وتحصر بينها زوايا غير متماثلة. وبكلمات أخرى إن العلاقة بين المحاور هي أ ≠ ب ≠ جـ.

والعلاقة بين الزوايا هي $\measuredangle \alpha = \measuredangle \gamma = 90^0$ و $\measuredangle \beta \neq 90^0$.

ومن الأمثلة عليها بلورات معدن الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) ومعدن الأورثوكليز ومعدن الهورنبلند. انظر الشكل (5-19).



الشكل (5-19): بلورات تمثل فصيلة أحادي الميل.

7- فصيلة ثلاثي الميل

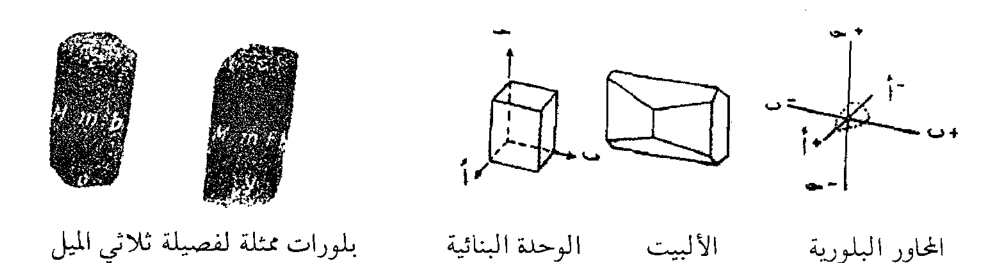
تشمل هذه الفصيلة البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور بلورية غير متساوية كما هو الحال في معدن الألبيت.

أي أن: أ ≠ ب ≠ جـ

والمحاور الثلاثة غير متعامدة.

فتكون علاقات الزوايا بين المحاور كما يلي:

$\measuredangle \alpha \neq \measuredangle \beta \neq \measuredangle \gamma \neq 90^0$



الشكل (5-20): بلورات فصيلة ثلاثي الميل

4-5 أسئلة الفصل الخامس

1- ماذا يقصد بمفهوم المعدن؟ هل يمكن اعتبار ما يلي معادن؟ فسر إجابتك.

أ- الحديد ب- الخشب جـ - النفط د- بلورات الثلج

2- كيف يمكن تمييز المعدن؟

3- إذا كان لديك معدناً مجهولاً أحضره بلحث جيولوجي من الطبيعة كيف تكشف هويته وتتعرف عليه؟

4- أذكر ثلاثة فروق بين المادة المتبلورة والمادة غير المتبلورة.

5- ماذا يقصد بالعبارة العلمية التالية (إن للمعدن تركيب داخلي منتظم)؟

6- فسر ما يلي:

أ- يختلف معدن الماس عن معدن الجرافيت.

ب- ظفر الإنسان يميز بين الكالسيت والجبس.

جـ- يختلف التضوء عن البريق لمعدن الكوارتز.

د- مكسر الصوان محاري.

هـ- يختلف الدولوميت عن الكالسيت (الحجر الجيري).

و- يتشقق معدن المايكا على صورة صفائح رقيقة.

ز- تتميز المعادن بقدرتها على توصيل التيار الكهربائي.

7- عندما تتعرف عناصر الفلزات مع عناصر اللافلزات لتكوين جزيئات المركب فإن التفاعل لا يتوقف عند هذا الحد. إشرح بإيجاز هذه العبارات.

8- كيف تتعرف على كل معدن مما يأتي من خواصه؟ كوارتز، وتالك، ومايكا، وهاليد، والماس.

9- ماذا يقصد بكل فكرة من الأفكار التالية؟

الوحدة البنائية في البلورة، تضوء المعدن، مكسر المعـدن، مخـدش المعـدن، الـوزن النوعي للمعدن، الرابطة المعدنية، البلورة.

10- أكمل الجدول التالي:

الفصيلة البلورية	عدد المحاور	أطول المحاور	الزوايا المحورية
ثلاثى الميل	---------	---------	---------
المعيني	---------	---------	---------
أحادى الميل	---------	---------	---------
الرباعي	---------	---------	---------

11- كيف تتكون بلورات معدن الملح الصخري في الطبيعة؟

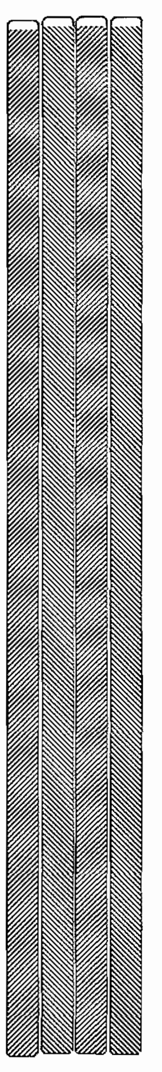
12- هل يمكن اعتبار الماء والنفط بأنهما من المعادن؟ وضح ذلك.

13- تتشكل معظم المادة المكونة من القشرة الأرضية من معادن السيليكات. لماذا؟

14- ما هي العناصر العشرة التي تتشكل منها معادن القشرة الأرضية؟

15- ما هي المعادن التي تشكل معظم الأكاسيد في الطبيعة؟ وضح ذلك.

الفصل السادس



الصخور

تعتبر الصخور الوحدة الأساسية المكونة للجزء الصلب من سطح القشرة الأرضية، وهذه الصخور قد نشأت وتكونت منذ الأبد من إندفاعات الصهارة الصخرية من باطن الأرض. وتعتبر الصخور النارية أول أنواع الصخور ثم تكون فيما يعد النوعين الآخرين من الصخور وهما الصخور الرسوبية والصخور المتحولة. يتناول الفصل السادس الأنواع الثلاثة من الصخور بالدراسة المسهبة من حيث المفهوم والأصناف والأمثلة والخصائص.

6

الصخور

6-1 المقدمة

تعتبر الصخور بأنها أولى اهتمامات الجيولوجي، وهي الوحدات البنائية الأساسية التي تتكون منها القشرة الأرضية. وتتكون الصخور من المعادن. وتعتبر المعادن بأنها الوحدات البنائية للصخور، وتتكون معظم الصخور من تجمع معدنين أو أكثر، وفي كثير من الحالات تتشكل الصخور من عدد من المعادن لا يقل عن عشرة معادن. وبعض أنواع المعادن يشغل مساحة واسعة من سطح القشرة الأرضية وتغطي مساحة كبيرة منها مثل معدن الجبس ومعدن الدولومايت. وبعض هذه المعادن تشكل طبقات أو تراكيب صخرية واسعة تعرف بالصخور الجيرية وتتكون بشكل خاص من معدن الكالسيت ($CaCO_3$) ومعدن ملح الطعام ($NaCl$).

والصخرة: هي جزء من سطح القشرة الأرضية ليس لها شكل متميز وأيضاً ليس لها تركيب كيميائي محدد ثابت.

ويعرف الصخر: بأنه مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تراكمت في مكان واحد نتيجة ظروف تكوين معينة، والصخر هو وحدة تركيب سطح القشرة الأرضية.

9-2 تصنيف الصخور

يمكن أن نصنف الصخور باتباع أكثر من طريقة، فقد تصنف الصخور تبعاً لتركيبها الكيميائي أو لمكوناتها المعدنية، ومن التصنيفات الشائعة تصنيف الصخور تبعاً لنشأتها (أصلها) أو تكوينها وتبعاً لذلك فإنها تصنف إلى ثلاث مجاميع أو أصناف كبيرة وهي الآتية:

أ- الصخور النارية

وهي الصخور التي تكونت نتيجة تصلب المواد المنصهرة في درجات حرارة عالية والتي انبثقت من باطن الأرض وانتشرت على سطحها فتصلبت بسرعة، أو أنها لم تستطع الوصول إلى سطح الأرض فكان تصلبها بطيئاً وبصورة تدريجية تحت السطح. وتعتبر الصخور النارية الصخور الأساس التي تكونت منها أنواع الصخور الأخرى، ومن أمثلة الصخور النارية، صخر الجرانيت والبازلت والجابرو.

ب- الصخور الرسوبية

وهي صخور نشأت وتكونت من تفتت الصخور النارية أو المتحولة أو الرسوبية نتيجة عمليات التجوية والحت ثم انتقلت مكوناتها بفعل التيارات المائية والهوائية أو الجليديات، فترسبت في بيئات مائية أو على اليابسة، ثمّ حدث عليها عمليات تماسك ولحام بفعل مواد جيرية أو حديدية أو سيليكاتية، وتتميز بمظهرها الطبقي وباحتوائها على الأحافير وقلة المعادن المتبلورة فيها، ومن أمثلتها الحجر الجيري والصخور الطينية والرملية.

جـ- الصخور المتحولة

وهي صخور تكونت من صخور متكونة بصورة مسبقة مثل الصخور النارية أو الرسوبية أو حتى الصخور المتحولة. فأثرت فيها عوامل الضغط الشديد أو الحرارة العالية أو العاملين معاً. وتتميز هذه الصخور بأنها ذات معادن متبلورة وندرة وجود الأحافير فيها، ومن الأمثلة على الصخور المتحولة صخر الشيست والنايس والرخام والأردواز.

ويبين الجدول (6-1) أوجه الشبه والاختلاف بين أنواع الصخور الثلاثة، النارية والرسوبية والمتحولة.

6-3 دورة الصخر في الطبيعة

تكونت الصخور المختلفة التي يتكون منها سطح القشرة الأرضية نتيجة لعمليات جيولوجية فعّالة خلال الأزمنة الجيولوجية الطويلة، وقد أدى ذلك إلى بناء أنواع الصخور، وهدم أنواع أخرى منها في الوقت نفسه. وبكلمات أخرى، فإن

جدول (6–1): مقارنة بين أصناف الصخور

وجه المقارنة	الصخور النّارية	الصخور الرسوبية	الصخور المتحولة
1– التكون:	تبلور مادة الصهارة (الماجما)	تبلور من محاليل ساخنة وأيضاً تماسك فتاتات نشأت من تجوية وحتى صخور سابقة.	إعادة تبلور: معادن صخور رسوبية أو نارية سابقة بفعل الضغط والحرارة الشديدين.
2– تكون الطبقات:	كتل غير طبيعية، ولا أشكال محددة لها	لها مظهر طبقي ويظهر على صورة رقائق أفقية تتشكل حسب الحركات الأرضية.	ترى طبقات أحياناً إذا كان أصلها من صخور رسوبية.
3– وجود المستحاثات (الأحافير):	خالية من المستحاثات	تحوى بقايا لكائنات حية.	يندر وجود مستحاثات فيها.
4– مكوناتها:	معادن متبلورة تحت ظروف واحدة من الضغط والحرارة (معظمها معادن سيليكاتية).	تتكون من قطع فتاتية متراكمة، وكثير من أنواعها لا يتكون من معادن متبلورة.	تتكون من معادن متبلورة وغير متبلورة.
5– نسبتها في القشرة الأرضية:	تعتبر الصخور الأساس التي تشكلت منها القشرة الأرضية وتبلغ نسبتها 95٪ من صخورها.	حوالي 5٪ من القشرة الأرضية لكنها تغطي 75٪ من سطحها.	قليلة نسبياً.
6– السامية أو الفراغات:	متماسكة وغير مسامية.	تظهر مسامات وقد تمتلئ بالماء أو النفط أو الغاز الطبيعي.	قد يوجد فيها مسامات أحيانا.
7– أمثلة عليها:	الجرانيت والسيانيت والجابرو.	الحجر الجيري والرملي والطيني.	الرخام والنابس والشيست.

الصخور في الطبيعة في حالة تغير بصورة مستمرة ويقود هذا إلى دراسة دورة الصخر في الطبيعة، فمن أين نبدأ؟ وكيف تتوضح لنا عمليات البناء والهدم للصخور في الطبيعة؟ انظر الشكل (6-1).

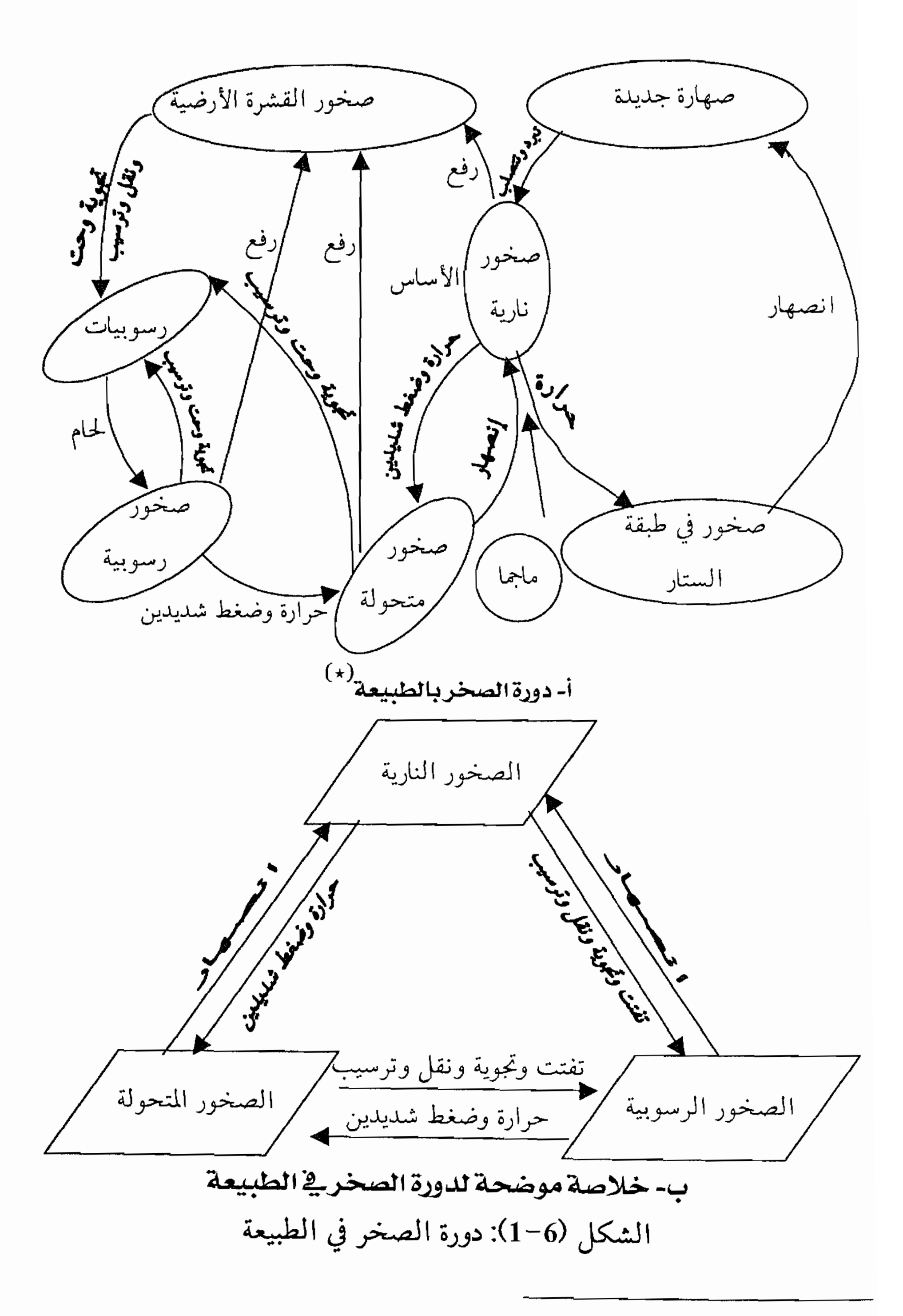
إن منشأ وأصل الصخور يعود إلى الصهير الصخري (الماجما) الذي يندفع من باطن الأرض إلى أعلى، وقد يتصلب في الأجزاء العليا من القشرة الأرضية مكوناً الصخور النارية المتداخلة، أو ربما يصل إلى سطح القشرة الأرضية ويسيل عليه على صورة لابة (لافا) أو طفوح بركانية، ثم يتصلب فوق السطح مكوناً الصخور النارية البركانية أو السطحية.

والصخور المختلفة الموجودة على سطح الأرض دائمة التغير نتيجة تعرضها للعوامل والظروف المختلفة مثل التيارات المائية والهوائية وما تسببه لها من عمليات تجوية وتعرية يكون نتيجته تكسر الصخور وتفتتها إلى أجزاء أصغر منها يتم نقلها بفعل عوامل النقل مثل التيارات المائية والهوائية والجليديات إلى أحواض الترسيب، وهناك تتجمع وتتصلب وتتماسك بفعل عوامل اللحام والضغط مكونة الصخور الرسوبية.

وتحت ظروف معينة مثل درجات الحرارة العالية والضغط الشديد أو الاثنين معاً، فإن الصخور تتعرض إلى إعادة تبلور لمعادنها أو يتكون معادن جديدة مع بقائها في الحالة الصلبة. وتسمّى هذه العمليات بالتحول وينتج عنها صخور من نوع جديد تعرف بالصخور المتحولة.

وبزيادة الضغط والحرارة ربما تنصهر جميع أنواع الصخور الموجودة في الطبيعة. وتتحول إلى صهارة صخرية (ماجما) من جديد والتي قد تبرد وتتصلب مكونة صخوراً نارية من جديد.

ويتبين لنا مما سبق أن سطح القشرة الأرضية دائم التغيير والتشكل بصورة مستمرة. ويبين الشكل (6-1 (أ، ب)) دورة الصخر في الطبيعة.



الشكل (6-1): دورة الصخر في الطبيعة

(*) أساسيات علم الجيولوجيا: محمد يوسف حسن وآخرون (1984).

4-6 الصخور النارية

يتكون معظم القشــرة الأرضيــة مـن صخـور ناريـة يرجـع أصلـها إلى تجمـد الصهارة (الماجما) بداخل القشرة الأرضية أو في مناطق قريبـة مـن سـطحها وتتكـون الصهارة أساساً من معادن سيليكاتية منصهرة ويرافقها كميـات صغـيرة مـن الأبخـرة والغازات تحت درجات حرارة عالية وضغط شديد، وتوجد عنـد أعمـاق كبـيرة تحت سطح القشرة الأرضية تتفاوت بين عشرات وبضع مئات من الكيلومترات.

ومما يلفت الإنتباه إلى هذا النوع من الصخور وجودها في المناطق غير المستقرة والمعروفة بالمناطق الحركية في القشرة الأرضية، وتشمل مناطق سواحل المحيـط الهـادى والسـاحل الغربـي والشـرقي لأمريكـا الجنوبيـة. ومنطقـة حـوض البحـر الأبيـض المتوسط، وتتميز هذه المناطق بأنها ضيقة وطويلة نسبياً.

وتوجد الصخور النارية في الطبيعة إما على سطح الأرض وتعرف بـالصخور النارية السطحية أو الطفحية وتسمى أيضاً الصخور البركانيـة. وفي داخـل القشـرة الأرضية تسمى الصخور النارية بـالصخور المتداخلـة لتداخلـها بـين الطبقـات وفي الشقوق وفجوات الصخور الأخرى المكونة لهذه القشرة.

والصخور النارية عبارة عن صخور تكونـت مـن معـادن منصـهرة في بـاطن الأرض في غرف الصهير أو الماجما، ثم صعدت إلى سطح القشرة الأرضية عن طريـق البراكين فبردت وتصلبـت وتبلـورت إمـا علـى سـطح الأرض أو في باطنـها تحت السطح. ويطلق عليها اسم الصخور الأولية باعتبارها الصخور الـتي اشـتقت منـها بقية أنواع الصخور بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

وتشكل الصخور النارية حوالي 95٪ مـن صخـور القشـرة الأرضيـة. وعلـى الرغم من اعتبارها مـن أقـدم أنـواع الصخـور علـى سـطح الأرض إلا أن بعـض أنواعها يعتبر الأكثر حداثـة في تكونـها علـى الأرض. ويعـود ذلـك إلى النشـاطات والثورات البركانية التي تزود الأرض بالمزيد من الصخور النارية.

والصخور النارية بصورة عامة شديدة الصلابة. لهـذا فقـط كـانت أقـدر مـن غيرها من الصخور على مقاومة التجوية والتعرية. وهي صخـور عديمـة المسـامية لا

تسمح بتسرب الماء من سطوحها إلا بصعوبة وإن تسرّب فإنه ينفذ من بين البلورات التي تشكل هذه الصخور.

6-4-1 أماكن تكون الصخور النارية في الطبيعة

تتكون الصخور النارية في أعماق مختلفة بالنسبة لسطح القشرة الأرضية، وتبعاً لذلك يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام حسب وجودها في صخور القشرة الأرضية، وهي الآتية:

أ- الصخور النارية الجوفية (صخور الأعماق)

وهي الصخور النارية التي بردت وتصلبت ببطء في أعماق كبيرة تحت سطح الأرض وبحيث كان معدل التبريد بطيئاً فتكونت بلورات للمعادن ذات حجوم كبيرة، ومن أمثلة هذا النوع من الصخور هي صخور الجرانيت وصخور الجابرو.

ب- الصخور النارية المتداخلة (الوسطية)

وهي الصخور النارية التي بردت وتصلبت على عمق قليل من سطح الأرض، وهنا يكون معدل التبريد أسرع لذلك تكون بلورات معادنها ذات أحجام متوسطة، والنسيج الصخري لها خشناً، ومن أمثلة هذا النوع من الصخور هو صخور السيانيت والديورايت.

جـ- الصخور النارية السطحية (البركانية)

وهي الصخور النارية التي تدفقت على سطح الأرض على صورة طفوح بركانية غطت مساحات شاسعة منه، وهنا يكون معدل التبريد سريعاً جداً، لذلك تكون أحجام البلورات صغيرة جداً، والنسيج الصخر يكون ناعماً، ومن الأمثلة على هذا النوع من الصخور هو صخور الريولايت وصخور البازلت.

وعموماً، فإنه يمكن التفريق بين الأنواع المختلفة للصخور النارية تبعاً لحجوم بلوراتها، وهذه الحجوم البلورية تعتمد على الطريقة التي تبرد فيها الصهارة الصخرية ودرجة الحرارة التي تبرد عندها، وتختلف الصخور النارية عن بعضها إلى بعض بالتركيب الكيميائي والمعدني والبلوري والألوان والنسيج. ويستخدم الجيولوجي هذه الخصائص للتعرف على نوع الصخر الناري.

6-4-2 التركيب الكيميائي للصخور النارية

يتوقف التركيب الكيميائي للصخور النارية بصفة أساسية على التركيب الكيميائي لمادة الصهير (الماجما) وخاصة السيليكا، لذلك فقد تم اتخاذ نسبة ثاني أكسيد السيليكون أساساً لتقسيم الصخور النارية حسب تركيبها الكيميائي، ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع وفقاً لذلك وهي:

أ- صخور غنية السيليكا (الحمضية)

وهي صخور غنية بالسيليكا تحتوي على نسبة سيليكا تتراوح بين 65٪ إلى 80٪ وتكون نسبة الحديد والمغنيسيوم فيها قليلة، وتمتاز بألوانها الفاتحة اللون، ومن أمثلتها صخور الجرانيت والريولايت.

ب- صخور متوسطة السيليكا

وهي صخور تقدر نسبة السيليكا فيها بنسبة تتراوح بين 65٪ و 52٪، وتقدر نسبة الحديد والمغنيسيوم فيها بدرجة متوسطة، وتمتاز بالألوان الغامقة لصخورها، ومن أمثلتها صخور الديوريت والسيانيت.

جـ- صخور قليلة السيليكا

وتتراوح فيها نسبة السيليكا بين 52٪ وأقل من 45٪ وتصنف إلى نوعين وهما التاليان:

1- **صخور قاعدية:** وهي صخور غامقة اللون تحتوي على نسبة سيليكا تصل إلى 52٪ ونسبة عالية من الحديد والمغنيسيوم ومن أمثلتها صخور الجابرو.

2- **صخور فوق قاعدية:** وتحتوي على نسبة سيليكا تقل عن 45٪ وتزداد فيها نسبة الحديد والمغنيسوم، وتتميز بألوانها التي تميل إلى اللون الأسود، ومن أمثلتها صخر الدونايت.

6-4-3 نسيج الصخر الناري

يعرف النسيج بأنه وص المظهر الكلي للصخر الناري تبعاً لحجم بلوراته وترتيبها وأشكالها، ويعكس النسيج العلاقة الأساسية والمتبادلة بين بلورات المعادن. ويلعب التركيب الكيميائي والمعدني للصخور النارية دوراً هاماً في اختلاف حجم

بلوراته وترتيبها، ويتوقف هذا على سرعة تبلور معادنه من الصهارة، ويمكن تقسيم أنسجة الصخور النارية كالآتي:

1- النسيج الدقيق الناعم

ويكون هذا النسيج ذا بلورات دقيقة جداً بسبب تدفق الصهير الصخري على سطح الأرض وبرودته بصورة سريعة ومن أمثلته صخور البازلت والريولايت.

2- النسيج الخشن

ويمثل الصخور التي بردت وتبلورت في جوف الأرض، وتكوّن نتيجة لذلك بلورات خشنة أو كبيرة الحجم وتميزت بترتيب خاص ومن أمثلته صخور الجرانيت والجابرو والسيانيت.

3- النسيج الزجاجي

ويتكون هذا النسيج نتيجة التبريد السريع والمفاجئ للصهارة الصخرية، وحيث أن هذا النوع من التبريد لا يعطي للأيونات وقتاً كافياً لتكوين بنية بلورية، ومن الأمثلة عليه صخر الأوبسيدان.

4- النسيج المجهري

وينتج من برودة الصهارة الصخرية بسرعة فائقة مما ينتج عنها بلورات معينة صغيرة جداً لا يمكن رؤيتها إلاّ بالمجهر.

5- النسيج الاسفنجي

ويتكون عندما تحتوي الصهارة الصخرية على كمية كبير من الغازات تظهر على صورة فقاقيع صغيرة في داخل الصهارة ثم تفقد الصهارة هذه الفقاعات ومن الأمثلة عليه حجر الخفاف. انظر الشكل (6-3).

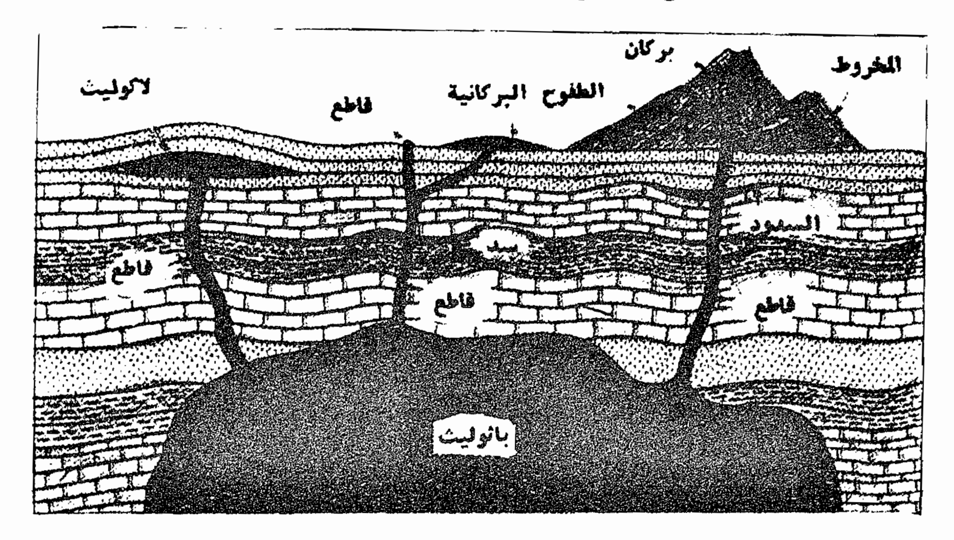
4-6-6 التركيب المعدني للصخور النارية

تختلف أنواع الصخور النارية بعضها إلى بعض تبعاً لتركيبها المعدني ويتوقف ذلك أصلاً على التركيب الكيميائي لمادة اللابة (اللافة). وهناك ستة معادن رئيسية تدخل في تركيب الصخور النارية وهي الآتية: الكوارتز، والفلسبار، والمايكا،

والهوربنلند، والأوجيت، والأوليفين. وتوجد معادن أخرى بصورة غير رئيسية في الصخور النارية ومنها: الماجنتيت، والبيريت، والزركيون، والأباتيت، والجارانيت.

6-4-5 الأوضاع التي توجد عليها الصخور النارية

تتخذ الصخور النارية أشكالاً وأوضاعاً مختلفة في باطن الأرض، ويتوقف ذلك على المناطق التي تبرد فيها الصهارة الصخرية ومن ثمّ تصلبها. ويبين الشكل (6-2) رسماً تخطيطياً يوضح أوضاع الصخور النارية في باطن الأرض.



الشكل (6-2): أوضاع الصخور النارية

أ- الباثوليت

وتوجد على هيئة كتلة ضخمة من الصخور النارية تحتل مساحة تقدر بعدة آلاف من الكيلومترات المربعة في بعض الأحيان. ويتصف السطح العلوي من الباثوليت بأنه غير منتظم فتظهر فيه النتوءات الصخرية المندفعة بعيداً عن كتلة الباثوليت نفسه. وعموماً تعتبر صخور الباثوليت من الصخور النارية القديمة، ويعتقد عموماً بأن جذور القارات والجبال تتشكل من الباثوليت؛ وعلى سبيل المثال ترتكز الصحراء في شبه جزيرة سيناء في مصر على قاعدة ضخمة من صخور الباثوليت. ويحاط الباثوليت غالباً بصخور نارية قديمة ومتحولة ورسوبية.

ب- اللاكوليت

وهي كتل صخرية نارية كبيرة الحجم كانت في بداية تكونها صهيراً صخرياً، ثم اندفع خلال طبقات صخرية رسوبية بقوة اندفاع غير كافية للوصول به إلى فوق سطح الأرض على صورة طفوح بركانية بل بقي بين طبقات الصخور الرسوبية في الأعماق بحيث تشكل على صورة قوس يتغذى بالصهير من أسفل منطقة اللاكوليت.

جـ- السدود

وهي كتل من الصخور النارية الباطنية تكون على صورة طبقات من الصخور الرسوبية أو المتحولة، وتكونت نتيجة اندفاع الصهارة من الباثوليت. وتكون إما سميكة حيث يبلغ امتدادها عدة مئات من الأمتار وأحياناً كيلومترات أو قليلة السمك على صورة رقائق أو طبقات رقيقة.

د- القواطع

وهي كتل صخرية توجد بصورة عمودية أو قريبة منها ضمن الصخور الرسوبية حول الباثوليت، وهذا على عكس السدود التي تكون غالباً في الوضع الأفقي، ويتراوح حجم القواطع من صغيرة في حالة العروق ويزيد اتساعها إلى عدة مئات من الأمتار وقد يصل طولها أحياناً إلى عدة كيلومترات.

وهناك أوضاع أخرى للصخور النارية مثل اللوبوليت والأعناق البركانية والفاكوليت.

6-4-6 أمثلة من الصخور النارية

1- صخر الجرانيت

وهو صخر ناري جوفي عميق حامضي يتميز بكبر حجم بلوراته، ولونه الذي يتراوح بين اللون الرمادي والوردي، ويتوقف هذا اللون على وجود معادن الفلسبار بأنواعه التي تدخل في تركيبه.

ويقدر الوزن النوعي للجرانيت بين 2.6-2.7 وله درجة صلابة عالية ويتكون من عدة معادن منها الكوارتز والأورثوكليز والبلاجيوكليز والمايكا والزركيون. انظر الشكل (6-3).

2- صخر السيانيت

وهو صخر ناري جوفي متوسط يتكون غالباً من المعادن نفسها التي تدخل في تركيب صخر الجرانيت، لذلك فالسيانيت يشبه الجرانيت في كثير من خصائصه وله نسيج خشن ولونه فاتح، ينسب اسمه إلى مدينة أسوان حيث اكتشف فيها لأول مرة عبر التاريخ. انظر الشكل (6-3).

3- صخر البازلت

وهو صخر قاعدي سطحي يتكون من الطفوح البركانية التي تتدفق فوق سطح الأرض، ولذلك فيتميز بحجم بلوراته الصغيرة جداً، ويتغير النسيج في الصخر البازلتي حسب أماكن تكونه فيتراوح بين النسيج الزجاجي إلى النسيج الناعم الدقيق. ومن أهم المعادن التي يتكون منها هي البلاجيوكليز، والأوليفين، وأكاسيد الحديد.

4- صخر الجابرو

وهو صخر ناري جوفي قاعدي يميل لونه ما بين اللون الأخضر الفاتح إلى اللون الأسود ويشبه صخر البازلت إلاّ أن نسيجه خشن وبذلك يختلف عن البازلت في ذلك، ولمعادنه حجم بلورات متوسطة. انظر الشكل (6-3).

5- صخر الريولايت

وهو صخر ناري سطحي فاتح اللون ويشبه الجرانيت في تركيبه المعدني. ويتميز بأن بلوراته ذات أحجام صغيرة. انظر الشكل (6-3) ويتكون من معادن متعددة ومنها الكوارتز والبلاجيوكليز.

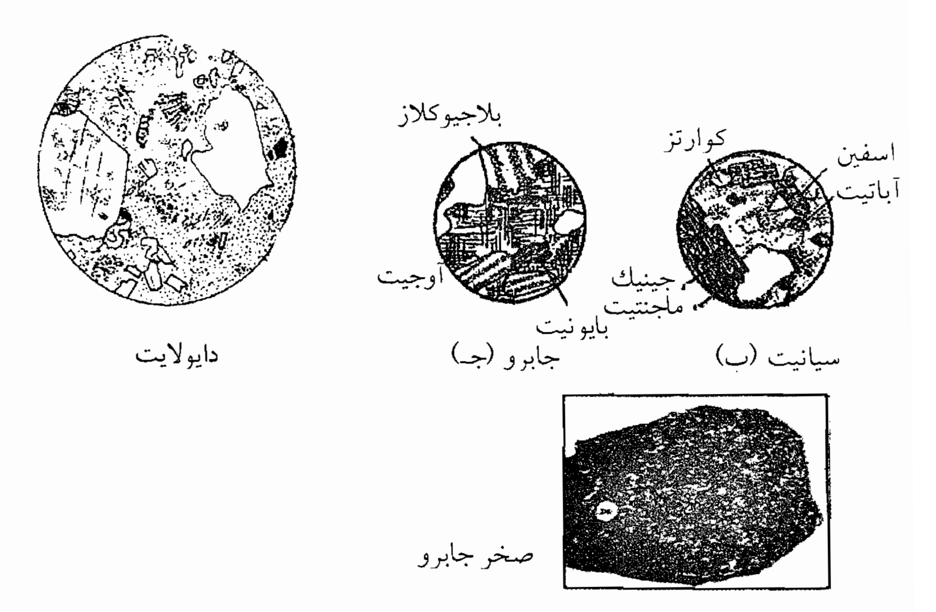
وعموماً، تحتل الصخور النارية مكانة اقتصادية هامة في حياتنا في كونها صخور تحتوي على معظم الخامات المعدنية التي يحتاجها الإنسان مثل خامات الحديد والنحاس والفضة والذهب والكروم والنيكل. وتوزيع هذه المعادن يتوقف على نوع الصخور النارية التي تحتويها. فعلى سبيل المثال تكثر معادن الذهب والقصدير في الصخور الحمضية، وأما الكروم والكوبلت والنيكل فيكثر وجودها في الصخور القاعدية.

النسيج الزجاجي في صخر الأوبسيدان

النسيج الاسفنجى فى صخر بيومس

يوضح النسيج الخشن فى صخر الجرانيت

يوضح النسيج الدقيق فى صخر البازلت



الشكل (6-3): بعض أنسجة الصخور النارية وصور من صخور نارية

6-5 الصخور الرسوبية

6-5-1 المقدمة

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة لعملية تفتت صخور سابقة مثل الصخور النارية والمتحولة والرسوبية بتأثير عملية التجوية والحت وغيرها من العمليات الخارجية المؤثرة في سطح القشرة الأرضية، ثم ما يتبعها من عمليات نقل للفتاتات والركامات تحت الظروف العادية من ضغط وحرارة، وأخيراً ترسبها في أحواض الترسيب المائية واليابسة حيث تتماسك وتتصلب بفعل عوامل اللحام والضغط والتجفيف عليها فتتحول إلى صخور رسوبية. فالصخور الرسوبية هي نوع من الصخور تتكون فوق سطح القشرة الأرضية نتيجة لترسيب مواد صلبة محمولة بواسطة التيارات المائية أو الهوائية أو الجليديات. وتوجد هذه الصخور في الطبيعة على شكل طبقات بعضها فوق بعض تختلف فيما بينها اختلافاً كبيراً من حيث السمك والتركيب المعدني.

وتأتي أهمية الصخور الرسوبية بالنسبة لنا من حيث اتساع انتشارها فهي تغطي ثلاثة أرباع سطح القشرة الأرضية اليابسة بينما يغطى الربع الباقي بالصخور النارية والمتحولة، إضافة إلى أن قيعان البحار والمحيطات تمثل أماكن مناسبة لترسيب هذا النوع من الصخور حيث يترسب فوقها رسوبيات مختلفة النوع والمصدر. إضافة إلى ما سبق فإن أهمية الصخور الرسوبية تكمن فيما يلي:

1- تمثل المواد الخام التي نحتاجها لأعمال البناء؛ فالحجر الرملي والجيري والزلط والإسمنت وحجارة البناء هي مواد أساسية لا غنى عنها في أعمال الإنشاءات المختلفة.

2- تعتبر مكامن لبعض مصادر الطاقة غير المتجددة مثل النفط والغاز الطبيعي والفحم بأنواعه.

3- إن الصخور الرسوبية هي المصدر الأساسي لبعض المعادن مثل الفوسفات والأملاح المعدنية المختلفة.

4- تساعد الصخور الرسوبية الجيولوجيين في دراسة التأريخ الجيولوجي للأرض وتطور الحياة على سطحها من خلال ما تحتويه من أحافير تمثل الحياة السابقة على هذا السطح.

6-5-2 نشأة الصخور الرسوبية ومكان تكونها في الطبيعة

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة ترسب الرواسب من القطع الصخرية والفتاتات والمواد الذائبة في أحواض الترسيب. وأما لفظة الراسب فتعني كل مادة صلبة كانت معلقة في سائل ثم تراكمت على قاع المنطقة التي تحتوي السائل، ومن النواحي الجيولوجية نطلق كلمة راسب عادة على كل مادة صلبة كانت معلقة أو ذائبة في سائل (ماء) ثم ترسبت منه وتراكمت في القاع بعد إعطائها الوقت الكافي لذلك. فعلى سبيل المثال، إن الأملاح الذائبة في الماء، تسمى رواسب بعد (تبخر) الماء، ورمال الصحاري المحمولة بواسطة الرياح، تسمى رواسب عندما تتراكم على سطح القشرة الأرضية، وأيضاً مخلفات الكائنات الحية المختلفة تسمى رواسب عندما تتراكم على سطح القشرة الأرضية.

وتصنف الرواسب في ثلاثة أنواع وهي الآتية:

1- رواسب **طبيعية**: وهي المواد التي تكونت نتيجة لتراكم المواد الصخرية الفتاتية.

2- رواسب كيميائية: وهي المواد التي تكونت نتيجة لتبخر الماء من بعض المحاليل المنتشرة في الطبيعة.

3- رواسب **عضوية**: وهي المواد التي تكونت نتيجة تراكم المواد التي خلفتها الكائنات الحية.

والرواسب من الأنواع الثلاثة تختلف في تركيبها الكيميائي والظروف التي ساعدت في تكونها وترسبها، وعليه فإنه يمكن تقسيمها إلى نوعين من الرواسب هما: الرواسب البحرية والرواسب القارية.

وفي ضوء ما سبق التحدث عنه، فإنه يوجد في الطبيعة أماكن كثيرة تتراكم فيها الرسوبيات، إلاّ أن هناك أماكن أكثر استقبالاً لها من غيرها فيتشكل فيها طبقات سميكة من الرواسب وفتاتات الصخور الرسوبية.

ومن هذه الأماكن ما يلي:

1- البحار والمحيطات

تتجمع الرواسب في مياه البحار والمحيطات على مسافات قريبة من الشاطئ تبعد عنه عادة بضع مئات من الأمتار، ومصدر هذه الرواسب إما من المواد الذائبة في الماء أو من مخلفات الكائنات الحية التي تعيش فيها، وفي المناطق العميقة من البحار والمحيطات تترسب مواد من أنواع أخرى مثل الأصداف الحيوانية، والرواسب المعلقة الدقيقة والدقائق التي تحملها الرياح وتخلفها على سطح ماء البحار والمحيطات حيث تترسب في قيعانها.

2- البحيرات

في فصل الشتاء تستقبل البحيرات كميات كبيرة من ماء الأنهار ومعها مواد معلقة وذائبة ورواسب مثل الفتاتات الرسوبية وبقايا الصخور. وفي فصل الصيف، تتبخر كميات من ماء البحيرات ويترسب نتيجة لذلك معادن متعددة مثل معدن ملح الطعام وكربونات الكالسيوم حول أطراف البحيرات وفي قيعانها.

3- الينابيع

يترسب حول مجاري الينابيع رسوبيات أصلها من الأملاح الذائبة في ماء الينابيع والتي حملتها معها من باطن الأرض ومن هذه الأملاح معادن جيرية (كلسية) ومعادن سيليكاتية.

4- الصحاري

تحمل الرياح كميات هائلة من الرمال في الصحاري وعندما تترسب بفعل إصطدامها بالحواجز أو المعيقات لسيرها التي تواجهها على سطح القشرة الأرضية فإنها تشكل كثبان رملية في أحواض الترسيب.

6-5-3 الرسوبيات المتكونة من تجوية الصخور

درسنا في الفصل الرابع من هذا الكتاب عمليات التجوية المتعددة التي تحصل للصخور المنتشرة في الطبيعة، وقد درسنا أيضاً نواتج تجوية بعض المعادن

السيليكاتية التي تتكون منها الصخور النارية، وعلمت أن نواتج التجوية كثيرة ومتنوعة ويتوقف ذلك على طبيعة الصخور المجواة وأيضاً عامل التجوية الذي يؤثر فيها سواء كان عاملاً ميكانيكياً أو كيميائياً.

فعلى سبيل المثال، يتكون صخر الجرانيت وهو صخر ناري من معادن الكوارتز والأورثوكليز والبلاجيوكليز والمايكا والزركيون. وعادة يتعرض هذا النوع من الصخر وغيره من الصخور إلى عوامل التجوية، فماذا ينتج عن التجوية الكيميائية لمعادن صخر الجرانيت؟ أو ماذا ينتج عن التحلل المائي لمعادن صخر الجرانيت؟

إن معدن الكوارتز يتكون عنه حبيبات الرمل. ومعدن الأورثوكليز ينتج عنه معادن طينية (كاولينية) وكربونات الكالسيوم. وأما معدن البلاجيوكليز فينتج عنه معادن طينية وكربونات الصوديوم والكالسيوم، ومعدن المايكا يتجوى ليعطي صفائح رقيقة وأكاسيد الحديد. وأخيراً فإن نواتج تجوية معدن الزركيون هي حبات رقيقة من الرمال. وهذه النواتج جميعاً تتراكم في البيئات المائية وعلى اليابسة فيتشكل منها طبقات رسوبية تؤثر فيها، فيما بعد، العوامل الكيميائية والعضوية.

6-5-4 تماسك الرواسب وتحولها إلى صخور رسوبية

تتراكم الفتاتات والرواسب في أحواض الترسيب بصورة غير متماسكة، ثم تتعرض بعد ذلك لظروف وعوامل طبيعية وكيميائية مختلفة تؤدي إلى اندماجها وتماسكها. ويتكون نتيجة لذلك ما يعرف بالصخور الرسوبية، ومن أهم هذه العوامل ما يلي:

أ- التلاحم

يترسب بين حبيبات الرواسب بعض المواد المعدنية تعمل كمادة لاحمة تعمل على تماسكها معاً، ومن المواد التي لها خاصية التلاحم هي دقائق السيليكا وكربونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد. وتحمل هذه الدقائق اللاحمة بواسطة المياه السطحية والجوفية الحاوية للأملاح المعدنية ومنها هذه الدقائق اللاحمة، فعند مرورها على حبيبات الرواسب تترسب الدقائق اللاحمة بينها وتستقر على نحو يساعد على

تماسكها فتتحول إلى طبقة من الصخور المتماسكة. وبعض أنواع الصخور الرسوبية تعكس ترسب مثل هذه الدقائق اللاحمة فالحجر الرملي تتماسك حبيباته بواسطة دقائق أكاسيد الحديد لذلك يأخذ اللون الأحمر أو البني نتيجة لذلك، وأما الصخر الرملي الأبيض فيعكس ترسب دقائق كربونات الكالسيوم بين حبيباته، وأخيراً فإن الصخر الرملي الأصفر يعزى لونه إلى ترسب دقائق السيليكا بين حبيباته.

ب- الانضغاط

يلعب الضغط الناتج عن ثقل الطبقات المترسبة فوق حبيبات الرواسب غير المتماسكة في أحواض الترسيب دوراً كبيراً في تقارب حبيبات الرواسب بعضها إلى بعض. وأحياناً يؤدي هذا الضغط إلى طرد الماء الذي يتخلل المسامات والفراغات بين هذه الحبيبات فتجف وتتماسك ويقل حجمها مكونة صخورا رسوبية. فعلى سبيل المثال، إن الطين المدفون على عمق 1000 متر من سطح الأرض ينقص حجمه بمقدار 60٪ نتيجة الضغط عليه من ثقل الرواسب فوقه.

جـ- التأثير الحراري على حبيبات الرواسب

تزداد درجات الحرارة كلمات زاد عمق حوض الترسيب الحاوي لحبيبات الرواسب، وهذا يؤدي إلى تماسكها، وكما أن صعود الماجما يؤدي أيضاً إلى تماسك الحبيبات نتيجة التماس بينها، وبالتالي تساعد في تحول الحبيبات إلى طبقة من الصخور الرسوبية.

6-5-5 **الخواص العامة للصخور الرسوبية**

تتميز الصخور الرسوبية ببعض الخواص العامة تميزها عن غيرها، وهذه الخواص هي كما يأتي:

أ- خاصية التطبق

توجد الصخور الرسوبية على هيئة طبقات متوازية تختلف في السمك، واللون، والنسيج. ويرجع سبب هذه الخاصية إلى طبيعة تكون الصخور الرسوبية، فهي تنشأ نتيجة لترسب مواد مختلفة في طبيعتها وتكوينها خلال فترات زمنية مستمرة أو متقطعة. وتنشأ الأسطح الفاصلة بين طبقاتها نتيجة لاختلاف نوع

الرواسب أو نتيجة لتوقف الترسيب لفترات قد تطول، مما يكسب الطبقة المتكونة سطحاً متماسكاً يكون هو السطح الفاصل بين هذه الطبقة وما يتكون فوقها من طبقات.

ب- خاصية الاحتواء على الأحافير (المستحاثات)

تمثل الأحافير البقايا المتحجرة للكائنات الحية النباتية والحيوانية، التي عاشت على سطح الأرض في الأحقاب الزمنية المختلفة، وتعتبر هذه الأحافير بأنها سجلات محفوظة داخل القشرة الأرضية توضح تأريخ الحياة الغابرة على سطحها. وتختلف الأحافير في حجومها، فبعضها دقيقة مجهرية مثل أحافير الغورا مينفرا، وبعضها كبيرة مثل أحافير الأصداف البحرية، وأحياناً تشكل الأحافير طبقات رسوبية مستقلة؛ فالحجر الجيري المعروف بالطباشير ينشأ عن تراكم الملايين من أصداف جيرية لكائنات حية مجهرية عاشت في أعماق البحار. انظر الشكل (6-4).



الشكل (6-4): الأحافير في الصخور الرسوبية

جـ- خاصية المسامية

يوجد بين القطع الصخرية المختلفة المكونة للصخور الرسوبية مسامات أو فراغات تكسبها خاصية المسامية. ولخاصية المسامية أهمية كبيرة في الصخور الرسوبية، فهي تساعد في تجمع النفط والغاز الطبيعي، والمياه الجوفية، ومحاليل المعادن

المختلفة فيها، ويعمل ترسب مواد ودقائق لاحمة في مسامات الصخور الرسوبية إلى التقليل من خاصية المسامية لهذه الصخور، وبالتالي تقلل من نفاذيتها، أو حتى انعدامها أحياناً. إن خاصية المسامية هامة للجيولوجيين المهتمين بالدراسات النفطية ودراسات المياه الجوفية.

د- خاصية التركيب

تتركب الصخور الرسوبية من قطع صخرية مختلفة الحجوم مثل قطع الحجارة الرملية، والحجر الطبيعي، أو تتكون من رواسب كيميائية معدنية مثل الجبس، والملح الصخري، أو من بقايا أحفورية ومواد عضوية مختلفة مثل الصخور الجيرية المرجانية والفحم.

6-5-6 التركيب المعدني للصخور الرسوبية

تختلف الصخور الرسوبية في تركيبها المعدني اختلافاً كبيراً، ويعود ذلك إلى طريقة ترسب مكوناتها، فبعض أنواع الصخور الرسوبية يتكون من قطع صخرية وحبيبات معدنية فتاتية نقلتها التيارات المائية والهوائية إلى أحواض الترسيب، وبعض أنواع الصخور الرسوبية يتكون من رواسب معدنية نقلتها المحاليل المائية إلى أحواض الترسيب، حيث يتم ترسيبها كيميائياً، وهناك نوع آخر من الصخور الرسوبية تكون من رواسب عضوية نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية بعد موتها. والمعادن التي تدخل في تركيب الصخور الرسوبية تنقسم إلى قسمين، وهما:

أ- المعادن الفتاتية

وهي مجموعة المعادن التي تحرر من الصخور النارية الأساس نتيجة لعوامل الحت والتجوية، ثم نقلت بواسطة التيارات المائية والهوائية والثلاجات، واستقرت بعد ذلك في أحواض الترسيب. وتتمتع هذه المجموعة من المعادن بصلابة عالية، وتقاوم بدرجات مختلفة التفاعل (التحلل) الكيميائي، ومن أهم معادن هذه المجموعة هي معادن السيليكا مثل الكوارتز (SiO_2)، ومعادن الطين السيليكاتي، ومعادن المايكا، ومعادن الفلسبار، ومعدن الهورنبلند، ومعادن الفلزات الثقيلة مثل أكاسيد الحديد.

ب- المعادن غير الفتاتية

وهي مجموعة المعادن التي ترسبت من تبلور المحاليل المائية فوق المشبعة الموجودة في أحواض الترسيب، وأحياناً تتكون من نتيجة الترسيب الكيميائي في أجسام الكائنات الحية البحرية التي تستخلص مركبات معادن معينة من ماء البحار وتبني منه هياكلها وأصدافها. ومن أهم معادن هذه المجموعة هي معادن الكالسيت، والدولومايت، ومعدن الملح الصخري، ومعدن الجبس.

ويعود اختلاف التركيب المعدني بين مجموعة المعادن الفتاتية، والمعادن غير الفتاتية تبعاً لعوامل متعددة، ومنها بيئة الترسيب ونوع المواد المتوافرة في الوسط المرسب. فعلى سبيل المثال، تتكون الصخور الرملية من المعادن الفتاتية وتتكون الصخور الجيرية من المعادن غير الفتاتية.

6-5-7 تصنيف الصخور الرسوبية

تصنف الصخور الرسوبية حسب نشأتها (تكونها) إلى ثلاثة أنواع أو مجاميع هي الآتية:

أولاً: الصخور الرسوبية الميكانيكية (الفتاتية).

ثانياً: الصخور الرسوبية الكيميائية.

ثالثاً: الصخور الرسوبية العضوية.

وسنأتي فيما يلي على دراسة الأنواع الثلاثة من الصخور الرسوبية.

أولاً: الصخور الرسوبية الميكانيكية (الفتاتية)

وهي صخور تتكون نتيجة لترسيب الفتات الصخري والرسوبيات الناشئة عن تجوية وتفتت صخور أقدم منها ثم تنتقل بواسطة المياه الجارية والرياح والثلاجات وتترسب في بيئات معينة دون أن تتعرض لأي تغير كيميائي.

وتختلف الأنواع المختلفة للصخور الرسوبية الميكانيكية في حجومها، وتبعاً لاختلاف حجومها فإنه يمكن تصنيفها إلى الأنواع الأتية:

1- الكونجلوميرات

وهي صخور رسوبية ميكانيكية تتكون من قطع صخرية مستديرة يزيد قطرها عن 2 ملم، وتكـون حوافـها الخارجيـة دائريـة أو مبريـة الحـواف بسـبب نقلـها إلى مسافات بعيدة بواسطة التيارات المائية مثل الأنهار. وحبيبات الكونجلوميرات تتكون مـن الكوارتـز وهـي مختلفـة الأشـكال والحجـوم تلتحـم بفعـل دقـائق كربونـات الكالسيوم أو السـيليكا أو أكاسيد الحديد. انظـر الشـكل (6-5-أ)، وتتكـون الكونجلوميرات في مجاري الوديان والأنهار.

2- البريشيا

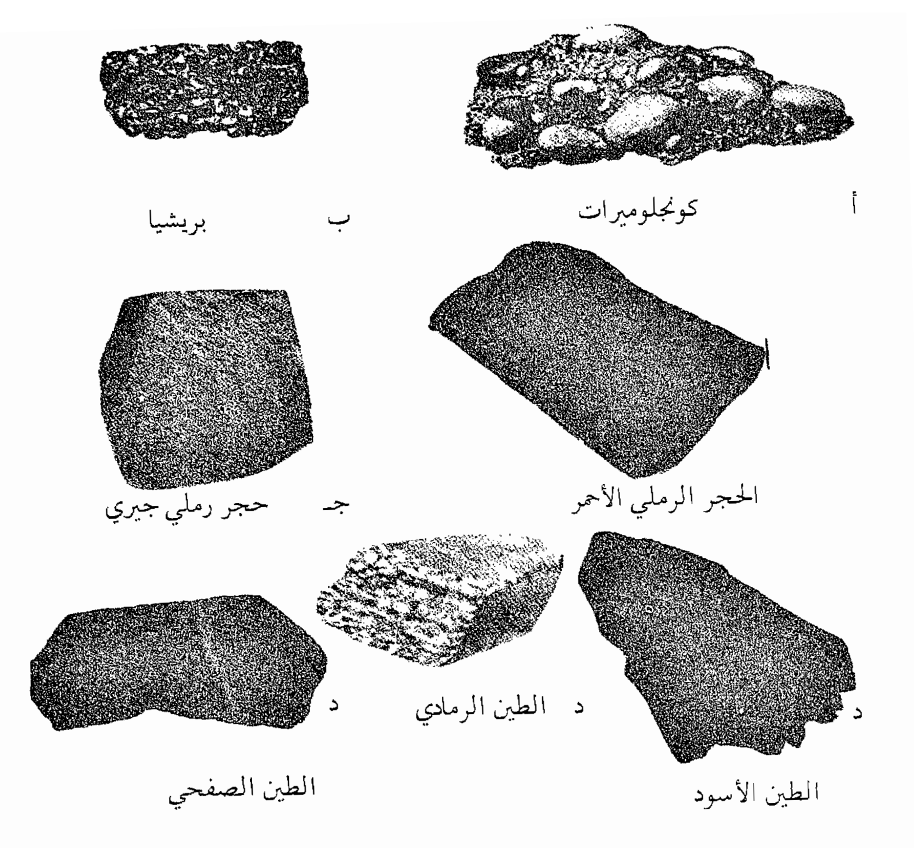
وهي صخور تتكون من قطع صخريـة غـير مبريـة الحـواف، أي تظـهر حـادة الحواف، ويدل ذلك على أنها لم تنقل إلى مسـافات بعيـدة بواسـطة التيـارات المائيـة النهرية أي ترسبت في المكان الذي تنشأ فيه أو قريبة منه، وتوجد عـادة قـرب ينـابيع الأنهار أو عند سفوح الجبال، أو على جوانب الهضاب. انظر الشكل (6-5-ب).

3- الحجر الرملي

وهو صخر رسوبي ميكانيكي يتكون من حبيبات معدنية فتاتيـة، تتكـون مـن معادن الكوارتز، والفلسبار، والمايكا، تلتحم معاً بواسطة دقـائق الكلـس (كربونـات الكالسيوم) أو السيليكا، أو أكاسيد الحديد. ويتراوح حجم حبيبـات الحجـر الرملـي بين 16/1-2ملم. انظر الشكل (6-5-جـ).

4- الصخور الطينية

وهي صخور رسوبية ميكانيكية تتميز بحبيباتها الـتي يقـل قطرهـا علـى 1/16 ملم، وتتكون من معادن الطين الذي ينتج من التحلل المائي لمعادن الفلسبار والمايكا. وتتراوح ألوانها بين البني أو الأحمر أو الأسود تبعاً لألوان المعادن التي تتكـون منـها، ومن الصخور الطينية ما يسمى بالطين الصفحي، وهـو عبـارة عـن صفـائح رقيقـة متراصة فوق بعضها بعضا، وهناك المارل الذي يتكون من حجر غريني جـيري يحتـوي على نسبة عالية من معدن كربونات الكالسيوم. انظر الشكل (6-5-د).



الشكل (6-5): بعض الصخور الرسوبية الميكانيكية

ثانيا: الصخور الرسوبية الكيميائية

وهي الصخور التي تتكون نتيجة لترسيب مواد معدنية كانت ذائبة في محاليل مائية مشبعة، ثم يتبخر منها كمية من الماء لتصل بعد ذلك إلى درجة فوق الإشباع، فتترسب نتيجة لذلك المعادن الذائبة فيها بحيث يترسب المعدن الأكثر ذوباناً في الماء أولاً، ثم يليه الأقل منه ذوباناً.

وتتكون الصخور الرسوبية الكيميائية أحياناً نتيجة للتفاعلات الكيميائية بين المعادن التي تحتويها المياه في الطبيعة فيتكون نتيجة لذلك معادن جديدة، إما أن تبقى ذائبة في المياه أو تترسب في قيعان الأحواض المائية مكونة رسوبيات، أو يتكون منها أملاح معدنية متبلورة حول حواف الأحواض المائية أو قيعانها.

وتبعاً لنشأتها الكيميائية فإن الصخور الرسوبية الكيميائية إما أن تتكون من نسيج بلوري أي يتكون من بلورات مختلفة في حجومها، أو أنها قد تترسب في صورة صخرة متعددة الأشكال والحجوم ومعادنها غير متبلورة مثل الرسوبيات السيليكاتية المعروفة بصخرة الصوان. وفي أحيان أخرى تظهر الصخور الرسوبية الكيميائية على صورة تجمع معدن واحد يشكل طبقة صخرية رسوبية.

وتقسم الصخور الرسوبية الكيميائية إلى ثلاثة أنوع وهي الآتية:

-1- الصخور الرسوبية الجيرية.

-2- الصخور الرسوبية السيليكاتية.

-3- الصخور الرسوبية الملحية.

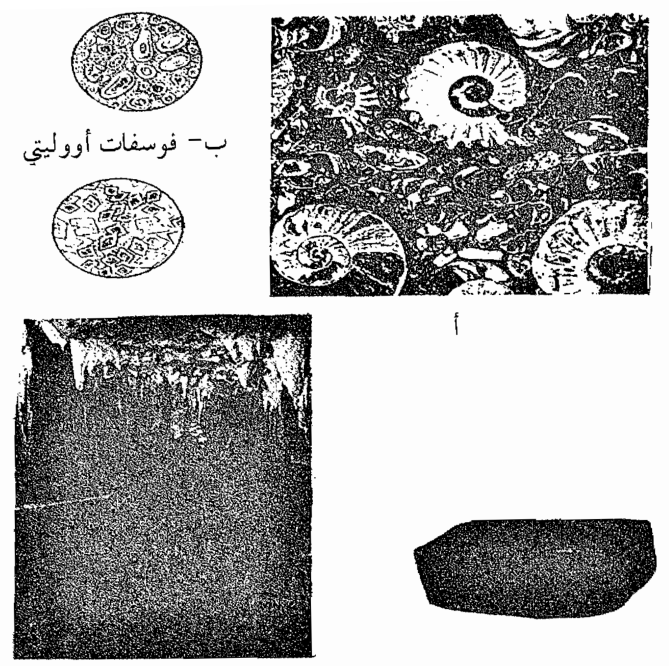
-1- الصخور الرسوبية الجيرية، ومن أشهر أنواعها ما يلي:

أ- الحجر الجيري

وهو الصخر الذي يتكون من الأصداف والهياكل الجيرية الغنية بقشور الأحافير المختلفة المرئية وغير المرئية، انظر الشكل (6-6-أ).

ب- الحجر الجيري الأزوليتي

وهو صخر يتكون من حبيبات بيضاوية الشكل تترسب على صورة طبقات رقيقة متجمعة حول نواة دقيقة مثل حبة رمل أو صدفة حيوان. وتظهر على شكل دوائر في المقطع الصخري الجيري الأزولتي. انظر الشكل (6-6-ب).



جـ - الحجر الجيري الطبقي　　د- الصواعد والهوابط داخل الكهوف الجوفية

الشكل (6-6): صخور رسوبية كيميائية

جـ- صخر الدولومايت

وهو صخر يتكون من معدن كربونات الكالسيوم والماغنسيوم. انظر الشكل (6-6-جـ).

د- الترافوتين

هي رواسب جيرية تتجمع حول ينابيع المياه الحارة التي تحتوي بيكربونات الكالسيوم، وتتكون نتيجة تبخر الماء وخروج غاز (CO_2) من المحاليل المعدنية لهذه الينابيع، ويترسب تبعاً لذلك معدن كربونات الكالسيوم على صورة بلورات بيضاء.

هـ- الهوابط والصواعد

وهي صخور تتكون على هيئة أعمدة جيرية مخروطية الشكل تتدلى من سقوف الكهوف وتسمى هوابط، أو ترتفع على أرضيتها وتسمى صواعد. وتتكون هذه الأعمدة من معدن كربونات الكالسيوم الذي ينتج من تحلل معدن بيكربونات

الكالسيوم حسب التفاعل الـذي تمثلـه المعادلـة الكيميائيـة التاليـة: انظـر الشـكل (6-6-د).

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O.$$

2- الصخور الرسوبية السيليكاتية

وهي صخور تترسب من محاليل غنية بمعدن السيليكا الذي يتجمع حول حبـة رمل أو شوكة من حيوان مائي تلقى بالمحلول ومن أنواعها الصخور الصوانية.

3- الصخور الرسوبية الملحية

وهي صخور تنتج من تبخر مياه البحيرات والبحار المقفلة مما يقـود إلى زيـادة تركيز المحاليل الملحية الموجودة فيها، وبالتالي تترسب المعادن على هيئة أملاح مكونـة طبقات متعاقبة تبدأ بطبقة الأملاح قليلـة الذوبـان وتنتـهي بطبقـة الأمـلاح الأكـثر ذوباناً في الماء. وتوجد مثـل هـذه الصخـور في البحـر الميـت والأزرق، وفي مصـر في الصحراء الشرقية وعلى سلحل البحر الأحمر. ومن أهم الصخور الملحية هي الآتية:

أ- الجبس

وهي صخرة رسوبية تتكون من حبيبات دقيقة من معدن كبريتات الكالسـيوم المائية (المتبلـورة) ($CaSO_4. 2H_2O$) وهـذا المعـدن يترسـب علـى هيئـة صفـائح أو طبقات ذات هيئة ليفية. ويعتبر معدن الجبس أول المعادن التي تترسب بكميات كبيرة نتيجة تبخر ماء البحيرات والبحار المقفلة.

ب- الأنهيدرات

هي صخرة رسوبية تتكون من كبريتات الكالسيوم اللامائيـة. وتترسـب مـن مياه البحيرات والبحار عند درجة حرارة 25^0 مئوية على صورة طبقـات متتابعـة مـع الجبس.

جـ- الملح الصخري

هو راسب ينتج من ترسب معدن كلوريد الصوديوم من مياه البحيرات نتيجة لتبخر 90٪ من مائها، وتوجد طبقات الملح الصخري مترسبة فوق الرواسب الملحيـة

السابقة، وهي الجبس والأنهيدرات، وهذا يعني أن الملح الصخري يترسب بعدها في المحاليل المائية الملحية.

د- الرواسب الملحية البوتاسية

وهي صخور رسوبية تترسب من المحاليل الملحية المائية بعد أن تصل إلى درجة الإشباع. وتوجد هذه الرواسب مختلطة مع الملح الصخري، وتعتبر كشوائب به، ومن أهم أملاحها الكارنالايت.

ثالثا: الصخور الرسوبية العضوية

وهي نوع من الصخور تتكون نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، مشكلة طبقات سميكة، ومن ثم يتم تحللها بواسطة الفطريات والبكتيريا خلال العصور الجيولوجية ونتيجة للضغط الواقع عليها من ثقل الطبقات المترسبة فوقها أو نتيجة عملية اختزال أو تفحم البقايا النباتية، فقد تماسكت مع بعضها البعض فتشكل من ذلك الصخور الرسوبية العضوية. ويمكن تمييز نوعين منها، وهي: صخور رسوبية عضوية حيوانية، وصخور رسوبية عضوية نباتية.

أولا: الصخور الرسوبية العضوية الحيوانية

ومن أشهر أنواعها:

أ- الصخور العضوية الفوسفاتية

وتتكون من معدن فوسفات الكالسيوم الذي ينتج من إفرازات بعض الطيور، وتراكم الهياكل العضوية الفوسفاتية لبعض أنواع الحيوانات البحرية. أما صخرة الفوسفات فتتكون من فوسفات الكالسيوم مختلطة مع مواد جيرية وتوجد بين طبقات الحجر الجيري أو الرملي، وتأخذ الصخرة الفوسفاتية شكل طبقة بينها. وينشأ الصخر الفوسفاتي من ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها ثم حدوث تفاعل كيميائي بينها وبين ماء البحر فتترسب المواد الفوسفاتية، وتوجد هذه الصخور في الأردن على صورة حزام يمتد من وسط الأردن حتى جنوبها ولها أهمية اقتصادية.

ب- الصخور العضوية الجيرية

وهي صخور تتكون من تراكم وتحلل الهياكل والأصداف الجيرية للحيوانات المائية التي تعيش في البحار، وغالباً تختلط هذه البقايا العضوية بنسب متفاوتة من الرسوبيات الجيرية والكيميائية مثل دقائق السيليكا وكربونات الكالسيوم، والتي تعتبر مواد لاحمة لهذه البقايا العضوية، ومن أنواع الصخور العضوية الجيرية المعروفة هي الحجر الجيري المرجاني، والحجر الجيري الطباشيري.

جـ- الرواسب الحديدية

وهي رواسب حديدية تتكون في البحار والمستنقعات مثل معدن الليمونايت.

ثانيا: الصخور الرسوبية النباتية

وهي نوع من الصخور تنتج من تراكم بقايا النباتات وتفحمها، ومن أشهر أنواعها هي الرواسب الكربونية التي تحتوي على نسبة عالية من الكربون أو الهيدروكربون، وتتكون نتيجة تفحم أو اختزال المواد والبقايا النباتية المتكدسة في المستنقعات أو الغابات التي تدفن في باطن الأرض. وتمر عملية التفحم بعدة مراحل متعاقبة حيث تزداد نسبة الكربون بعد كل مرحلة، وينتج منها مادة الفحم الحجري، ومن أشهر أنواع الفحم الحجري ما يلي:

أ- البيت

وهي مادة اسفنجية توجد فيها آثار بعض الألياف والجذور والتراكيب الخشبية واضحة، وينتج في أول مراحل عملية التفحم ويحتوي على كربون بنسبة تقرب من 55٪.

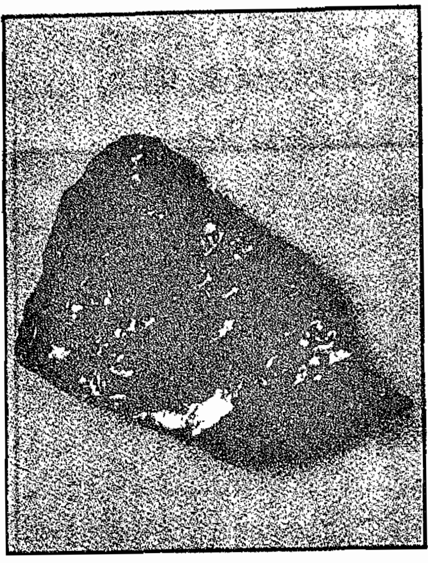
ب- اللجنايت

وهو مادة فحمية تظهر فيها آثار التراكيب النباتية بنسبة أقل من البيت، ويميل لونه إلى اللون الغامق ونسبة الكربون فيه تتراوح بين 55٪-72٪، لذلك يمكن اعتباره بأنه قد يتكون في المرحلة الثانية أي في مرحلة تسبق تكون الفحم.

جـ- الانثراسايت

ويعرف بالفحم الحجري، وهو صخر أسود سريع الكسر ومكسره محاري،

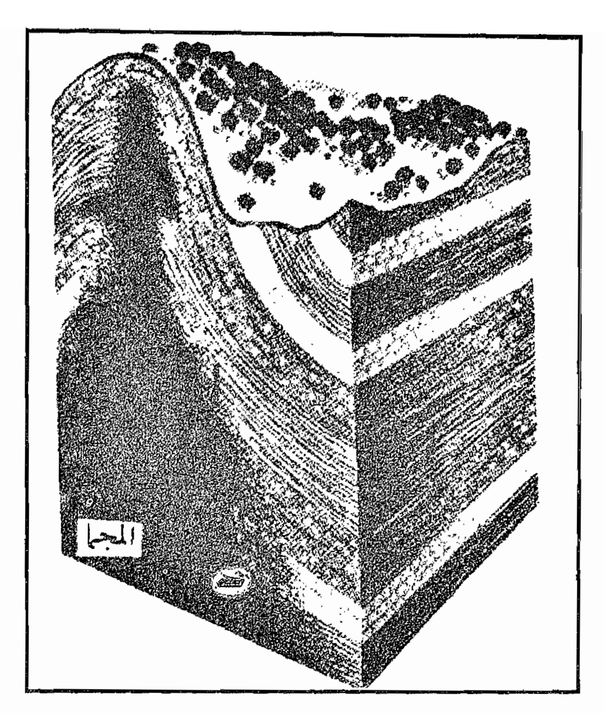
وتبلغ نسبة الكربون فيه بين 72٪-90٪، ويحترق بلهب نقي، ويوجد عادة على هيئة طبقات تتخلل طبقات الصخور الرملية والطينية عاصرت العصر الكربوني.



الشكل (6-7): فحم حجري من نوع الانثراسايت

6-6 الصخور المتحولة

هي الصخور التي تتكون نتيجة تعرض الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة إلى درجات الحرارة العالية أو الضغط الشديد أو العاملين معاً من تأثير تراكم الصخور بعضها فوق بعض أو بفعل الطاقة الناتجة عن الحركات الأرضية. وينتج تأثيرات مختلفة لكل من الضغط والحرارة على الصخور، يمكن التوصل إليها من خلال دراسة الصخور المتحولة. ولكن وفي كثير من الأحيان يصعب الفصل بين تأثير كل من الحرارة أو الضغط في الصخور. وعموماً ونتيجة لتأثير عوامل التحول على الصخر يحدث تغيرات في التركيب المعدني للمعدن، وفي نسيجه الصخري، أو في الاثنين معاً فتتغير صفات الصخر الظاهرية والداخلية، فعلى سبيل المثال، تصبح الصخور الرملية أكثر صلابة بعد عملية التحول، والحجر الجيري يتحول إلى مرمر ذي بلورات خشنة. انظر الشكل (6-8).



الشكل (6-8): يوضح التحول الحراري بالتلامس

6-6-1 عوامل التحول

تتم عملية التحول في الصخور المختلفة عموماً، والصخور الرسوبية والنارية على وجه التحديد بثلاث طرق، هي الآتية:

1- الحرارة

تؤثر الحرارة على الصخور العميقة أو المتداخلة المدفونة داخل أعماق الأرض من تأثير الماجما أو الصخور الصهارية الساخنة أو نتيجة درجات الحرارة التي تصل إلى ما بين 200^0-750^0م، في تلك الأعماق وربما أكثر.

2- الضغط

هناك نوعان من الضغط يؤديان إلى تحول الصخور، وهما الآتيان:

أ- **الضغط الموجه**: ويكون هذا النوع من الضغط غالباً من تأثير الحركات الأرضية ويكون ذا اتجاه ثابت، وتقدر قيمته أحياناً بحوالي ثلاثة كيلوبار، حيث أن قيمة البار الواحد تعادل ضغطاً جوياً واحداً (76 سم زئبق).

ب- الضغط الهيدروستاتيكي: ويعود تأثيره بسبب وزن عمود الصخور التي تعلو نقطة التحول، وتعادل قيمته حوالي عشرة كيلوبار، وهو متساوٍ حول هذه النقطة من جميع الاتجاهات.

3- المحاليل الحارة:

وتسمى أحيانا بعملية التحول الميتاسوماتيزم، وتحدث بين المحاليل الحارة المحيطة بالصخور والصخر نفسه، حيث يتم تبادل الأيونات بين المحلول ومكونات الصخر مما ينتج عنه تغير كيميائي في تركيب الصخر وتحوله. وفي كل أنواع التحول يحدث تبديل في ذرات المعادن المكونة للصخر وتتكون معادن جديدة لها أنسجة صخرية جديدة.

6-6-2 أنواع التحول

يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من عمليات التحول وهي الآتية:

أ- التحول بالحرارة أو بالتماس

ويكون العامل الأساسي في التحول في هذه الحالة حراري، ويحدث عندما تدخل الأجسام النارية المتدخلة مثل صخور المهل المصحوبة بالمحاليل الحارة بين الصخور المجاورة لها في باطن الأرض في المناطق المحيطة مباشرة بالأجسام النارية، فتؤدي حرارتها العالية إلى إعادة تبلور بعض أو جميع المعادن المكونة للصخور تلك المجاورة لها، وينشأ نتيجة ذلك معادن جديدة مميزة للصخور المتحولة.

وأحيانا يحدث التحول أيضاً على سطح الأرض عندما تنساب الطفوح البركانية فوق صخور سطح الأرض.

ب- التحول الإقليمي

وتكون عوامل التحول في هذه الحالة الضغط الشديد والحرارة العالية المنبثقة من المحاليل والغازات الساخنة المصاحبة للأجسام النارية المتدخلة. ويؤدي تأثير الحرارة إلى إعادة تبلور المعادن المكونة للصخور الأصلية فينشأ عن ذلك معادن جديدة. وكما يؤدي تأثير زيادة الضغط الموجه إلى نمو بلورات تلك المعادن في اتجاه عمودي على اتجاه الضغط مما يكسبها أشكالاً منشورية تؤدي إلى تكوين تركيب صفائحي مميز للصخور المتحولة يعرف بالتورق.

جـ- التحول الديناميكي

ويكون عامل التحول في هذه الحالة هو الضغط الموجه، ويكون تأثير هذا التحول على الصخر الأصلي متبايناً فيتراوح من منخفض إلى متوسط إلى مرتفع، وهذا النوع من التحول محدود في الطبيعة على عكس سابقيه.

3-6-6 أنواع الصخور المتحولة

تصنف الصخور المتحولة تبعاً لتركيبها المعدني ونسيجها، ويعزى التحول في هذه الصخور عادة إلى نسيجها الذي يعتمد على ظاهرة التورق، والتي يعود سببها إلى أن معادن الصخور المتحولة تترتب على صورة بنيات متوازية (صفوف متوازية) لتشكل ما يعرف بالرقائق التي تبدو للناظر إليها كوريقات تبدو مصطفة على صورة متوازية. واستناداً إلى ظاهرة التورق تصنف الصخور المتحولة إلى ثلاثة أنواع وهي الآتية:

1- الصخور المتورقة

ويتميز هذا النوع من الصخور بوجود ظاهرة التورق التي تضعف تماسك حبيبات الصخر، حيث أن تأثير الضغط عليها يقود إلى تكسر هذه الصخور، وتتكون هذه الصخور المتورقة نتيجة لتأثير التحول الإقليمي والديناميكي، ومن الأمثلة عليها صخر الأردواز، والفيلات، والشيست، والأمفيبول، والنايس. ويختلف كل صخر منها عن الصخور الأخرى بحجم حبيباته والمسافة بين مستويات التورق.

أ- الأردواز

هو صخر متحول رمادي اللون، دقيق الحبيبات، ويمتاز بسهولة تشققه على صورة صفائح أو ألواح رقيقة عند الضغط عليه. وينشأ نتيجة تعرض الصخور الطينية أو الصخور الطينية الصفحية إلى تحول إقليمي فتترتب المعادن على هيئة رقائق متوازية. انظر الشكل (6-9-أ).

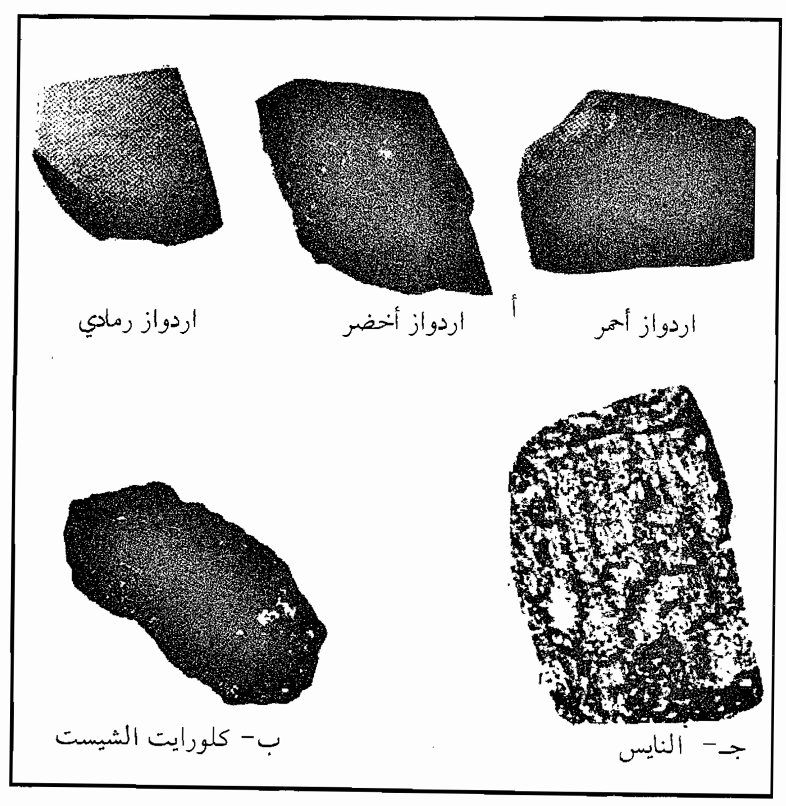
ب- الشيست

هو صخر متحول ذو حبيبات خشنة يتميز بنسيجه الصفائحي، حيث يمكن ملاحظته بالعين المجردة على صورة رقائق مرتبة في اتجاهات متوازية متصلة، وهذا

يساعد على فصلها عن بعضها البعض. وينشأ صخر الشيست من نتيجة تعرض الصخور الرسوبية والنارية إلى تحول إقليمي أو ديناميكي متوسط إلى عالي الدرجة. انظر الشكل (6-9-ب).

جـ- النايس

هو صخر متحول ذو نسيج صفائحي منتظم مكون من بلورات خشنة مرتبة في صفوف داكنة وفاتحة اللون، ويصعب تكسرها باتجاه التورق. وينشأ صخر النايس عن التحول الإقليمي عالي الدرجة لصخر الجرانيت والصخور النارية الجوفية الأخرى. وتستخدم صخور النايس في أعمال البناء المختلفة والأنواع الجيدة منها تستخدم كأحجار للزخرفة والزينة. انظر الشكل (6-9-جـ).



الشكل (6-9): لوحة تبين بعض الصخور المتحولة المتورقة

2- الصخور المتحولة غير المتورقة

هي صخور لا تتوافر فيها ظاهرة التورق، وتتكون نتيجة التحـول الحـراري أو التماسي وأحياناً بالتحول الإقليمي. ورغماً عن أنها غير متورقة إلا أنها تُظهر الهـور اتجاهات بلورية منتظمة ميكروسكوبياً نتيجة تحولها، ومـن أنواعـها: صخـر نفيلـس، والرخام، والكوارتزيت، والسيربينتنايت.

أ- الهورنفيلس

هو صخـر متحـول يتمـيز بحبيباتـه المعدنيـة المتشـابهة، ويكـثر وجـوده حـول الصخور النارية الجوفية بصورة أحزمة صخرية، ويتكون هذا الصخر نتيجة التحـول الحراري لأي نوع من أنواع الصخور.

ب- الرخام

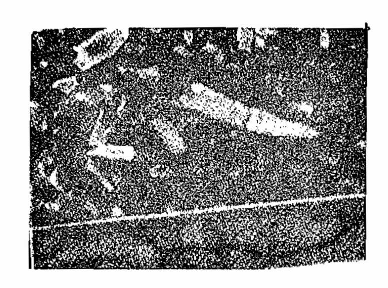
يتكون الرخام نتيجة تعرض معدنـي الكالسـيت والدولومـايت إلى التحـول الحراري والإقليمي حيث يعاد تبلور بلورات المعـدن الأصلـي لتتحـول إلى بلـورات أكبر حجماً. انظر الشكل (6-10-أ) ويمتاز الرخام النقي بألوانـه البيضـاء، وغالبـاً تتغير بوجود الشوائب.

جـ- الكوارتزيت

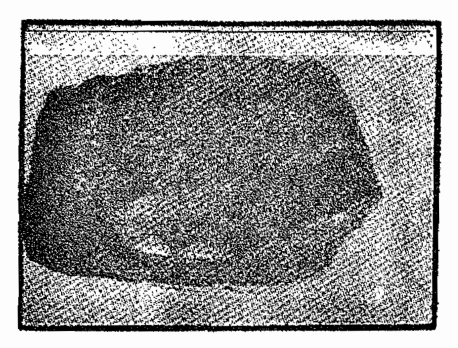
يتكون من تحول الصخور الرملية المكونة من معـدن الكوارتـز فيعـاد تبلـوره بتأثير التحول الحراري والإقليمي. انظر الشكل (6-10-ب). ويمتـاز الكوارتزيـت بنسيجه الخشن وصلابته العالية.

3- الصخور الكتاكلاستيكية

تتكون هذه الصخور نتيجة التحول الديناميكي للصخور القريبة من سطح الأرض، وتتعرض بعد الطحن والتكسر دون إعادة أو تغير في تركيبها المعدني والكيميائي، ويحدث في هذا النوع من الصخور عملية تصدع لطبقاتها.



أ- رخام وردي



ب- كوارتزيت

الشكل (6-10): الصخور المتحولة غير المتورقة

6-7 أسئلة الفصل السادس

1- عرف الأفكار التالية:

الصخر، الصخرة، الصخر الناري، الصخر الرسوبي، الصخر المتحول، الباثولايت، الصخر الناري العميق، الصخر الرسوبي الميكانيكي، التحول الديناميكي، الجرانيت، الكونجلوميرات، النايس.

2- ما أصناف الصخور الموجود في الطبيعة؟ على أي أساس تم تصنيفها؟

3- ما أصناف الصخور النارية حسب تركيبها المعدني؟ عرف بها؟

4- ما هي الأصناف الرئيسية للصخور الرسوبية؟ ما معيار تصنيفها؟

5- ما الأساس الذي استندنا إليه عند تصنيف الصخور المتحولة؟ ما أنواعها؟

6- كيف توجد الصخور النارية في الطبيعة؟

7- عرف بنسيج الصخر الناري؟ ما أشهر أنواعه؟

8- ماذا يقصد بدورة الصخر بالطبيعة؟ وضح هذه الدورة بالرسم؟

9- ما هي الخصائص والصفات في الصخور من أنواعها الثلاثة وتساعد في تمييزها والكشف عنها؟

10- إذا قدم لك عينات من صخور متنوعة كيف تصنفها إلى صخور نارية، ورسوبية، ومتحولة؟

11- كيف تلتحم الفتاتات والجلاميد الصخرية في الطبيعة ليتكون منها صخور رسوبية؟

12- فسر ما يلي:

أ- وجود الصخور متحولة عن أصل رسوبي ذات نسيج متورق.

ب- وجود أحافير لحيوانات بحرية في منطقة الحسا.

جـ- وفرة صخور الكونجلوميرات في مكان ما.

د- تعد الصخور الجيرية من أكثر أنواع الصخور تآكلاً في الطبيعة؟

13- كيف تكون كل مما يلي في الطبيعة:

أ- الصخور الرسوبية الكيميائية.

ب- الصخور الرسوبية الطباشيرية.

جـ- الصخور الطباشيرية.

د- الرخام.

هـ- الجرانيت.

و- الكونجلوميرات.

ل- الأنثراسيت.

14- هل تستطيع تفسير سبب اختلاف الماجما التي تنبثق من باطن الأرض؟

15- كيف تؤثر درجة الحرارة التي تتصلب وتتبلور عندها الماجما على شكل النسيج الصخري؟

16- ما هما نوعا الصخر الأكثر شيوعاً وانتشاراً في الطبيعة؟

17- ما هو الدولومايت؟ عرف به.

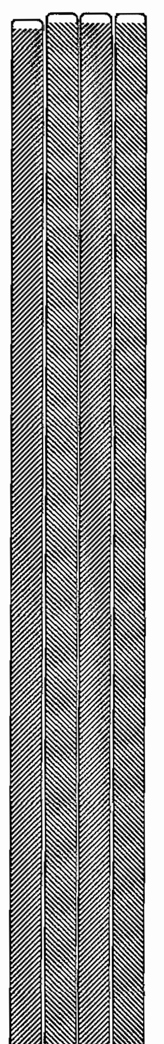
18- ما هو الطباشير؟

19- ما هي مصادر الحرارة التي تعمل على تحول بعض أنواع الصخور ليتكون منها الصخر المتحول؟

20- يحدث التحول لبعض أنواع الصخور في باطن الأرض هل يطبق الجيولوجيون مبدأ هتن التالي:

(الحاضر هو مفتاح الماضي).

الفصل السابع



الأحافير

يتناول هذا الفصل بالدراسة علم الأحافير (المتحجرات) والمبادئ والقوانين التي تساعد الباحث الجيولوجي على دراسة الأحافير. ويعرض إلى طبيعة حفظ الأحافير المختلفة في صخور القشرة الأرضية، كما يركز على فوائد دراسة الأحافير. ويشغل موضوع أنواع الأحافير مكاناً واسعاً في هذا الفصل.

7

الأحافير

7-1 ما هي الأحفورة؟

إنها كلمة لاتينية وتعني أحفورة وهي بالأصل [Fossils] وتعني: المستخرج من الأرض. وهي بذلك تشمل كل ما يستخرج من باطن الأرض من معادن وأحافير وغيرها. وقد تمكن العلماء من التفريق بين ما هو معدني، وبين ما هو بقايا الكائنات الحية، وبذلك تحدد استعمال كلمة الأحافير التي أصبحت تعني: بقايا الكائنات الحية أو آثارها والتي عاشت قبل العصر الجيولوجي الحديث أي قبل أكثر من (10,000) سنة تقريباً وهي تتراوح في الحجم بين الدقة المتناهية التي لا يمكن تشخيصها وتصنيفها إلاّ بالميكروسكوب وبين الحجم الكبير مثل الديناصور الذي يصل طوله إلى حوالي 7 أقدام ويبلغ وزنه حوالي 35 طناً.

وقد تعرف الأحفورة: بأنها بقايا صلبة لكائنات حيوانية أو نباتية عاشت في الماضي ثم دفنت بعد موتها دفناً سريعاً في الصخور الرسوبية وتحللت أجزاؤها الرخوة، ثم بقي الجزء الصلب منها دليلاً مادياً على حياة سابقة.

7-2 علم الأحافير

أما علم الأحافير أو المتحجرات فيعني ذلك العلم الذي يختص بدراسة الكائنات الحيوانية والنباتية التي عاشت خلال العصور أو الفترات الجيولوجية الماضية. وهذا العلم يقسم إلى قسمين وهما الآتيان :

القسم الأول: يختص بدراسة النباتات ويسمى علم النبات القديم ويقع بضمنه فرع حديث يسمى علم حبوب اللقاح القديمة.

القسم الثاني: يختص بدراسة الحيوانات ويسمى علم الحيوانات القديمة هذا بالإضافة إلى كل من علم الأحافير الجهرية، ويختص بدراسة الأحافير

الصغيرة، وعلم الأحافير الكبيرة ، ويهتم بدراسة الأحافير الكبيرة والتي يمكن مشاهدتها بالعين المجردة.

كما أن علم الحياة يبحث في الأحياء الحيوانية والنباتية التي تعيش خلال الفترة الجيولوجية الحديثة، وعليه فإن علم المتحجرات يقوم على دراسة الكائنات العضوية التي عاشت خلال الفترات الجيولوجية السابقة للفترة الحديثة. انظر الجدول (7-1).

الجدول (7-1) : تطور علم الأحافير

الفترات الجيولوجية			حقل التخصص
حقب الحياة الحديث	الرابع	البليستوسين	علم الحياة
		البليوسين	علم المتحجرات ↑
	الثلاثي		
حقب الحياة المتوسطة			
حقب الحياة القديمة			
حقب ما قبل الكاميري			

وتتواجد المتحجرات عادة في الصخور الرسوبية بكميات مختلفة، فتكثر في تركيب صخري معين، وتندر أو تنعدم في آخر، وقد تكون منتشرة في منطقة ما، وتنعدم في نفس الطبقة لمنطقة أخرى، وهذا يعود إلى أسباب متعددة منها:مدى انتشار الكائنات الحية نفسها في منطقة ما آنذاك، وطبيعة البيئة القديمة وظروف الحفظ.

ويعود ندرة البقايا العضوية في صخور حقب ما قبل الكامبري إلى سببين رئيسين:

الأول: هو قدم صخور تلك الفترة وتحولها مما أدى إلى زوال الكثير من آثار الكائنات الحية الموجودة فيها.

الثاني: ويفترض أن معظم الأحياء الأولية لم يكن لها هيكل أو غلاف صلب يزيد من إمكانية حفظها.

إن أقدم المتحجرات المعروفة يقدر عمرها بحوالي 2000 مليون سنة وتضم مجموعة من نوعين من الطحالب الزرقاء- الخضراء، ونوعين من الفطريات البدائية.

3-7 طبيعة حفظ الأحافير (تكوّن الأحافير)

إنَّ حفظ أي كائن حي أو جزء منه بعد مماته يرتبط بتوافر عوامل متعددة من أهمها:

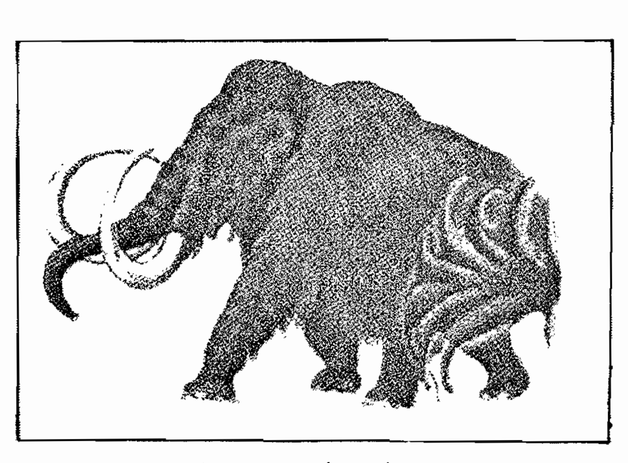
1- أن يكون للكائن الحي هيكل أو غلاف صلب، فمن المعروف أنَّ الأجزاء الرخوة من الكائنات الحية تتحلل خلال فترة قصيرة بعد مماتها ولا تترك أي أثر إلاّ ما ندر.

2- الدفن السريع الكلي للكائن الحي بعد مماته - الإنطمار المباشر للكائن الحي بعد مماته حيث أن الإنطمار السريع المباشر للأحياء بعد مماتها يحفظ هياكلها وأجزاءها الصلبة من التفتت والتحلل تحت تأثير العوامل الطبيعية حيثما تكون معرضة على السطح. وتحفظ بقايا الكائنات الحية أو آثارها بالطرق التالية:

(1) حفظ الأجزاء الرخوة

إن الأجزاء الصلبة من جسم الكائن الحي هي التي تحفظ ولكن استثناءات طبيعية أدت إلى حفظ الأجزاء الرخوة من أجسام بعض الكائنات الحية وذلك بحفظها في أوساط أبعدت عنها تأثير البكتيريا والتآكل وبذلك أدت إلى حفظها بطريقة ما. ومن الأوساط التي قد يحفظ الأجزاء الرخوة ما يلي: (التربة المتجمدة، والثلج، والتربة المشبعة بالنفط، والكهرمان).

ومن الأمثلة المعروفة على حفظ أجسام كاملة لكائنات حية بجزأيها الصلب والرخو هو حيوان الماموث والذي اكتشف في منطقة سيبيريا، والأسكا. لاحظ شكل (7-1). كما وجد أيضاً بقايا حيوان الداريناصور المنقرض وقد استخرجت من تربة مشبعة



الشكل (7-1) : حيوان الماموث

بالنفط في بولندا حيث وجد الجلد واللحم محفوظين بحالتهما الطبيعية. كما وجدت حشرات تعود إلى ما قبل 35 مليون سنة وبألوانها الأصلية محفوظة من ذلك الوقت ولحد الآن في مادة الكهرمان (الصمغ المتحجر).

إلاّ أنّ هذه الأجواء التي حفظت فيها الحيوانات لم تحفظ سوى عدداً ضئيلاً جداً بالنسبة إلى مجموع الكائنات الحية التي عاشت في تلك الفترة.

2- حفظ الأجزاء الصلبة الأصلية

هذه الطريقة من الحفظ أكثر شيوعاً من حالات حفظ الأجزاء الرخوة للأحياء حيث أنَّ معظم النباتات والحيوانات تدخل في تراكيبها أجزاء صلبة قابلة للحفظ عبر السنين. والأجزاء الصلبة هنا قد تكون مكونة من إحدى المعادن التالية:

أ- معدن الكالسيت

وهو المعدن الأساسي في تكوين أجزاء الهيكل العظمي للافقاريات مثل شوكيات الجلد والحزازيات والسرخسيات.

ب- معدن الأراجونيت

وهو الذي يكون الأصداف الصلبة لمعظم الرخويات مثل الرأسقدميات.

جـ- البقايا الفوسفاتية

حيث تحتوي أصداف السرخسيات والأجزاء الخارجية الصلبة لبعض المفصليات وعظام الفقاريات على كمية كبيرة من فوسفات الكالسيوم [$Ca_3(PO_4)_2$] ويمتاز هذا المركب بمقاومته الكيميائية العالية.

د- البقايا السليكية والبقايا الكاتينية.

3- القوالب والطوابع

تترك الأجزاء الصلبة للكائنات الحية (الهياكل والأصداف) آثارها في الترسبات التي حولها وبعد تحلل الهيكل أو الجزء الصلب فإن أثره المتكون بهذه الصورة تسمى قالب.ويطلق على القالب الذي يعكس الشكل الخارجي للكائن الحي القالب الخارجي كما يسمى القالب الذي يعكس الشكل الداخلي للكائن الحي القالب الداخلي.

أما الطابع فهو الشكل الذي يعكس الصورة الأصلية للكائن الحي، ويتكون نتيجة لامتلاء القوالب بالمواد الرسوبية أو المعدنية.

4- التضخم

يحصل هذا النوع من الحفظ بصورة رئيسة في النباتات وبعض الحيوانات وخاصة تلك التي لها مكونات كيتينية مثل الخطبات وبعض المفصليات وكذلك الأسماك حيث تتعرض المواد العضوية للكائنات الحية المدفونة في التربة إلى عملية تفحم، وهي عملية تحلل بمعزل عن الأكسجين في الهواء، تفقد خلالها عناصر الأكسجين والهيدروجين والنيتروجين المكونة لها وتتركز بذلك مادة الكربون على شكل طبقة رقيقة تعكس الشكل العام للكائن الحي.

5- التصخر والإحلال المعدني

هذه الطرق في حفظ بقايا الكائنات الحية تتم بتأثير المياه الجوفية والمحاليل الموجودة تحت سطح الأرض. حيث أنَّ هذه المياه الجوفية تتسرب داخل الهياكل المدفونة فتقوم بترسيب المواد المعدنية فيها، فتكسبها نوعاً من الصلابة وتحفظها من تأثير التجوية وتسمى عملية الحفظ هذه التصخر. أما الإحلال المعدني ففي هذه العملية تقوم المياه الجوفية بإذابة المكونات الأصلية الكاملة للكائنات الحية وترسب في محلها مواد معدنية أخرى، تأخذ نفس الهيئة الأصلية لتلك الأجزاء.

6- آثار الأحياء

تترك الحيوانات أثناء حركتها أو قيامها بفعالياتها الحيوية آثار على سطح الأرض أو الأماكن المتعرضة لتأثيرها. وهذه الآثار لها أهمية خاصة في معرفة وتحليل طبيعة الحيوان الذي خلفها وبيئته.

- **المتحجرات الكاذبة**

هناك أجسام ذات منشأ غير عضوي تماثل في مظهرها الأشكال ذات المنشأ العضوي، وتسمى الأحافير الكاذبة وهي موجودة غالباً في صخور رسوبية . أما بعض الأشكال المعروفة منها والتي يتداولها هواة جمع الأحافير وهي:

1- الشجرانية

بعض أنواع الأحجار الجيرية تحمل في سطحها أشكال تماثل تفرعات بعض نبات الخنشار أو النباتات الأخرى.

2- الصفاح أو الجانب المصقول

وهي خطوط عمودية تتكون على سطحها الصخور.

4-7 فوائد (استعمالات) المتحجرات

أهمية واستعمالات المتحجرات يمكن حصرها في مجالين رئيسين:

المجال الأول: يهتم بدراسة الجيولوجيا التاريخية.

المجال الثاني: يعنى بما يقدمه عالم الأحافير من وثائق مهمة لإثبات نظرية التطور العضوي وتتبع تاريخ الحياة. وسندرس فيما يلي المجال الأول الذي يتعلق بدراسة تاريخ الأرض والطبقات.

1- الأحافير المرشدة أو الدالة والعمر النسبي للطبقات

تتميز كل طبقة صخرية بأنواع معينة من الأحافير الحيوانية والنباتية لها نفس عمر الطبقة التي تحتوي وتحدد موقعها في العمود الجيولوجي. واستناداً إلى قانون تعاقب المجموعات الحيوانية والنباتية تقع في أي تتابع صخري الأحافير الأقدم في الطبقات السفلى من ذلك التتابع الصخري بينما تكون الأحافير الأحداث في الطبقات العليا منه. وهكذا يمكن تثبيت العمر النسبي للطبقات الصخرية وذلك بتحديد حداثة الأحافير التي تحتويها هذه الطبقات بالنسبة لبعضها إلى بعض. وإذا ما ذهبنا أبعد من ذلك فإنه بالإمكان تقسيم العمود الجيولوجي إلى وحدات طباقية حياتية مختلفة باستعمال أنواع وأجناس من الأحافير التي تتميز بعمر قصير وتكون بذلك دليل أو مؤشر للترسبات التي تحتويها والتي تكونت خلال فترة حياة ذلك النوع أو الجنس. وهذه الأشكال من المتحجرات التي تمتاز بالانتشار الجغرافي الواسع بالإضافة إلى العمر القصير تسمى الأحافير المرشدة أو الدالة . كما يطلق على الطبقة أو مجموعة الطبقات الصخرية المتميزة باحتوائها على وحدة تصنيفية معينة من الأحافير أو مجموعة منها اسم تكوين. والمجاميع الحيوانية المهمة مثل الأحافير المرشدة هي تلك التي تتميز أجناسها وأنواعها بالتغير والتطور السريعين بالإضافة إلى الانتشار الواسع مثل حيوانات الترابلوبايت والخطيات والأمونايت.

2- المضاهاة

المضاهاة هي عملية مقارنة وربط الطبقات والتكوينات الصخرية المختلفة مع بعضها لاثبات علاقات التماثل بينها ودرجة التساوي في العمر الجيولوجي. وتلعب الأحافير المرشدة دوراً مهماً في مضاهاة الأعمدة الجيولوجية لمناطق مختلفة وهذا النوع من المضاهاة الذي يعتمد فيه على الأحافير كأدوات للاستدلال على العلاقات بين الوحدات الصخرية تسمى المضاهاة بالأحافير.

3- تقسيم سلم الزمن الجيولوجي

يعتبر تعاقب الأحياء ودرجة تطورها خلال التأريخ الجيولوجي من الأسس المهمة في تقسيم الزمن الجيولوجي.

وقد قسم تأريخ الكرة الأرضية إلى أربعة أحقاب رئيسية استناداً إلى طبيعة الحياة السائدة في كل فترة من هذه الفترات الأربعة وحيث أن الأحافير تمثل السجل التاريخي لهذه الأحداث فمن هنا تبرز أهميتها في تقسيم الزمن الجيولوجي.

4- الأحافير دليل على الأحوال الجغرافية والمناخية والبيئية القديمة

إن من المعروف أن كل مجموعة حيوانية أو نباتية ترتبط بظروف بيئية ومناخية معينة خاصة بها، ويصعب عليها التطور والانتشار في بيئات أخرى مخالفة لبيئاتها الأصلية، وبهذا فإن الأحافير يمكن أن تزودنا بمعلومات واسعة حول توزيع البحار واليابسة، وتحديد طبيعة المناخ في العصور القديمة وكذلك البيئة التي عاشت فيها. فالعثور على الأحافير المرجانية أو الرأسقدميات في رسوبيات معينة يعني أن تلك الرسوبيات قد تكونت في منطقة بحرية، وبعبارة أخرى إن المنطقة التي تتواجد فيها هذه الرسوبيات كانت تغطيها البحار في الفترة التي تعود إليها تلك الرسوبيات.

7-5 الأحافير الشائعة

ونعالج بالدراسة هنا أهم الأحافير النباتية والحيوانية التي نجدها في الصخور الرسوبية.

أولا: الأحافير النباتية

تعد الأحافير النباتية أقدم من الأحافير الحيوانية، وقد ظهرت في العصر الكامبري. بل أنَّ بعضاً من الكائنات الحية البسيطة مثل الطحالب تعد أقدم من

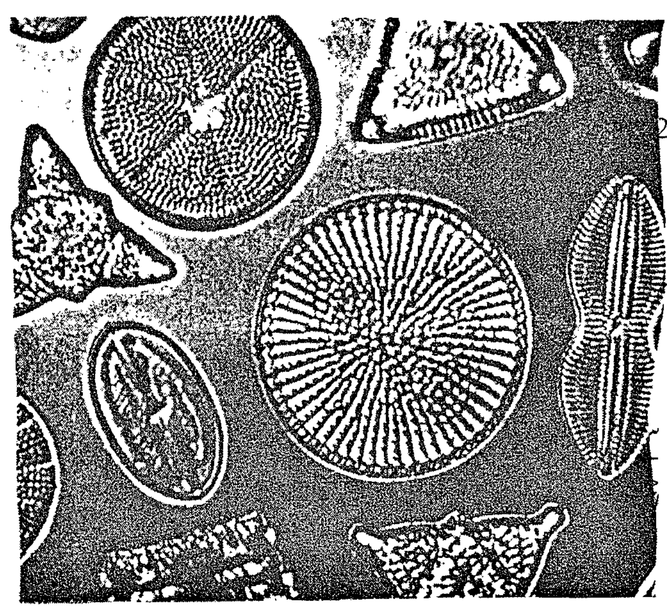
ذلك بكثير. لقد وجدت الأحافير النباتية في الصخور الرموبية على هيئة طبعات معدنية أو متفحمة، أو على هيئة أجزاء كحبوب اللقاح لوجود جُذُر صلبة لها، وتدلنا هذه الأحافير على المناخات القديمة. وقد ازداد الاهتمام بها لأهميتها في معرفة أنواع النباتات القديمة وتقدير العمر النسبي للصخور التي وجدت فيها. ويعد علم الأحافير علماً قائماً بذاته يرتبط بغيره من العلوم كعلم الأحافير الحيوانية. ومن الأحافير النباتية المهمة ما يلي:

1- الطحالب

تعيش الطحالب عموماً في الأماكن الرطبة الدافئة، وبما أن هياكلها تحفظ في الصخور على شكل أحافير فهي مهمة للجيولوجي لأنها تعطي معلومات عن بيئة الترسيب وعن العصر الجيولوجي الذي عاشت فيه. فالطحالب الزرقاء والبنية والذهبية تدل على صخور الحقبة القديمة، بينما تدل الطحالب الخضراء على صخور الحياة الحديثة.

2- الدياتومات

يبين الشكل (7-2) أشكالاً مستديرة وبيضاوية من الدياتومات التي توجد على هيئة أحافير مجهرية في بعض الصخور، وهي ما زالت كذلك تعيش في الوقت الحاضر في المياه الراكدة. انظر الشكل (7-2).



الشكل (7-2) : الدياتومات

3- السرخسيات

ترجع أهمية أحافير السرخسيات إلى انتشارها في العصرين الكربوني والبيرمي وامتدت إلى صخور العصر الجوراسي على هيئة أبواغ، ويعود الفضل للسرخسيات في تكوين الفحم الحجري في أوروبا وأمريكا وروسيا.

4- نباتات أخرى

ومنها البذريات التي تقسم إلى قسمين رئيسين وهما:

أ- نباتات وعائية معراة البذور

وتعطي هذه الأحافير معلومات علمية من نوع الغابات والمناخات والتي سادت في فترة معيشة نباتاتها.

ب- نباتات زهرية (مغطاة البذور)

ومنها نباتات شجرية أو شجيرية، حولية أو موسمية وترجع أهميها من الناحية الأحفورية إلى تأحفر حبوب لقاحها وبذورها.

ثانيا: الأحافير الحيوانية

1- أحافير اللافقاريات ومنها ما يأتي:

أ- أحافير الأوليات

ومن أهم هذه الأحافير هي الفورامينفرا ولقد امتدت هذه الأحافير منذ العصر الكامبري وحتى العصر الحديث، وتعد أحافير الفورامينفرا مهمة عند البحث عن الطبقات الحاملة للنفط والماء ومن هنا جاءت أهميتها.

ب- أحافير المرجانيات

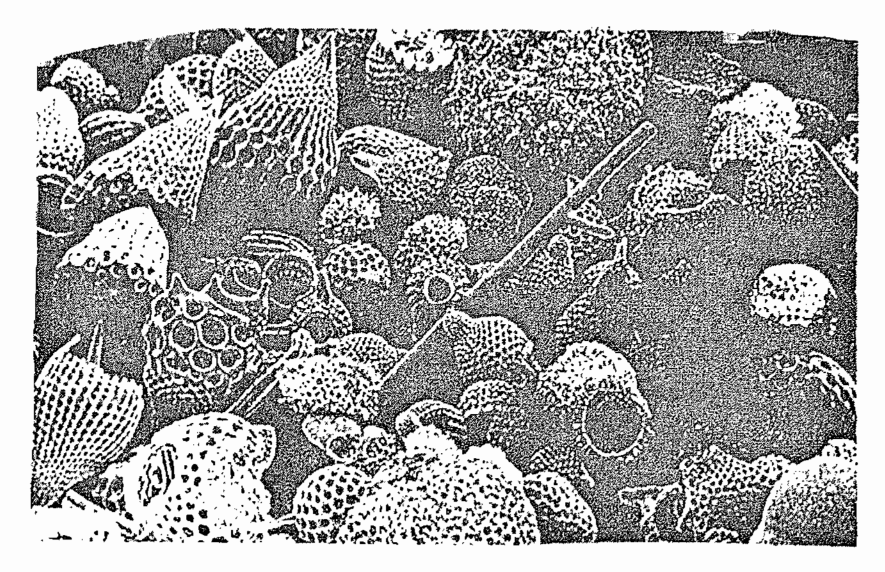
تنسب المرجانيات إلى طائفة الانثوزوا وإلى قبيلة الجوفمعويات. ومنها ثلاث رتب مرجانية مهمة هي:

1- رتبة المرجان الأنبوبي.

2- رتبة المرجان الرباعي المجعد.

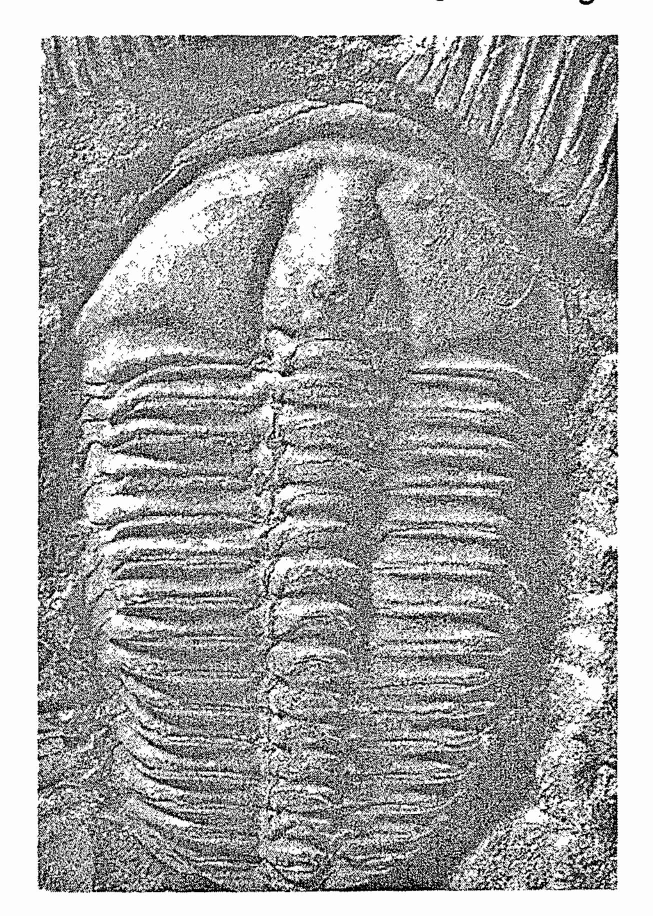
3- رتبة المرجان السداسي.

انظر الشكل (7-3)



الشكل (7-3): المرجانيات

جـ- أحافير الترايلوبيت



تدل أحفورة الترايلوبيت على العصر الكامبري لأنها عاشت أثناءه وانتشرت في بحار علة انتشاراً واسعاً؛ إذ لا تخلو رواسب هذا العصر من وجود أحافير الترايلوبيت فيها.

وقد بدأ انتشارها يقل ويخسر بعد العصر الكامبري تدريجياً على امتداد الحقبة القديمة إلى أن انقرضت في نهاية العصر البيرمي. الشكل (7-4) يمثل احفورة ترايلوبيت.

د- أحافير الرخويات

ويتفرع منها طوائف عدة منها:

1- طائفة المحاريات.

2- طائفة البطنقدميات.

3- طائفة الرأسقدميات.

ولهذا النوع أهمية خاصة لأنها أحافير مرشدة لكثير من العصور الجيولوجية، فمثلاً أحافير الغونيانيت: ظهرت في العصر الديغوني وانقرضت في العصر البيرمي. انظر الشكل (7-5).



الشكل (7-5) : أحفورة الغونيانيت



هـ- أحافير الجلد شوكيات

ظهرت أحافير الجلد شوكيات في جميع الحقب الجيولوجية وانتشرت بشكل واسع جداً في العصر الكريتاسي وما زالت تعيش الجلد شوكيات إلى اليوم منتشرة في مياه الخلجان والشواطئ المحمية. وقد يساعد هيكلها الخارجي الصلب على حفظها كأحافير.

2- أحافير الفقاريات

وهي أحافير الحيوانات ذات الهيكل الصلب الداخلي المتمحور حول العمود الفقري، ويتكون الهيكل من عظام أو غضاريف أو كليهما معاً. وتشمل هذه الفقاريات ما يلي : الأسماك، البرمائيات، الزواحف، الطيور، الثديات.

أ- أحافير الأسماك ومنها ما يلي:

1- الأسماك عديمة الفكوك.

2- أحافير الأسماك ذات الفكوك والزعانف المزدوجة.

3- الأسماك الغضروفية.

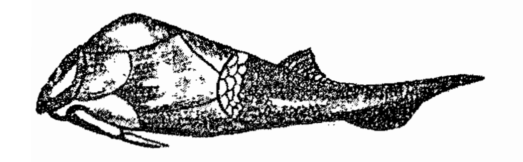
4- الأسماك العظمية وتقسم أحافير هذه الأسماك إلى مجموعتين:

أ- أحافير مجموعة شعاعية الزعانف.

ب- أحافير مجموعة الأسماك ذات المناخير. انظر الشكل (7-6) .



أسماك عديمة الفكوك



سمكة ذات الفكوك والزعانف المزدوجة

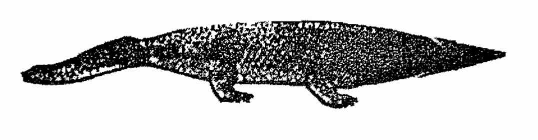
الشكل (7-6): أنواع من الأسماك

ب- أحافير البرمائيات

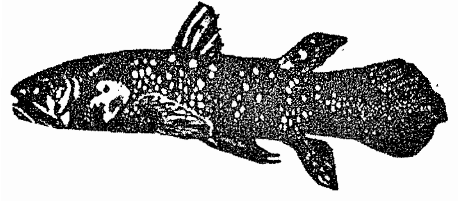
ومن الأمثلة على أحافير البرمائيات المنقرضة ما يأتي:

* أحفورة اكيتوستيغا: وهي أقدم أحافير البرمائيات المعروفة.

* أحفورة لايتقيريا: لها تركيب وسطى وكان طولها نحو 160 سم.انظر الشكل(7-7).



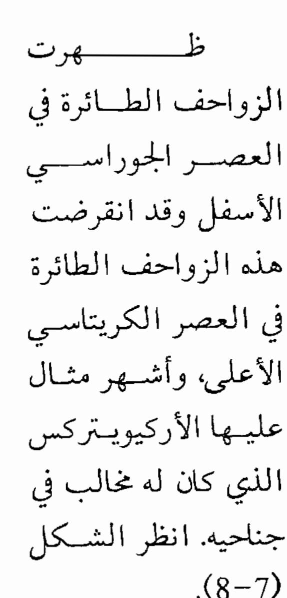
اكيتوستيغا



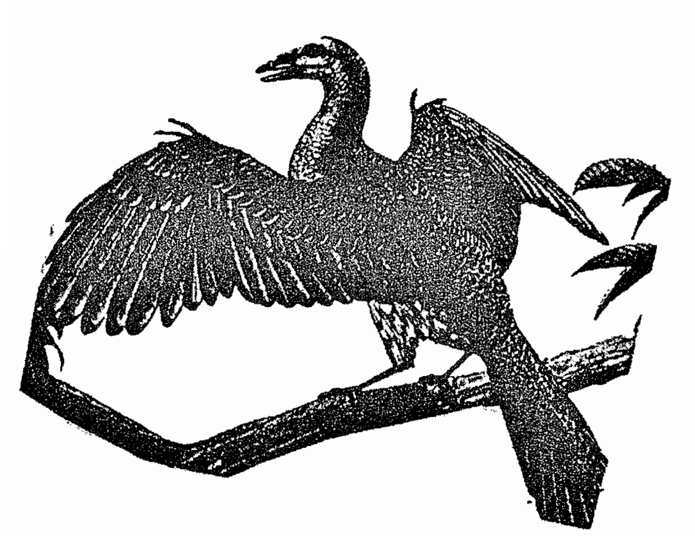
لايتقيريا

الشكل (7-7) : أحافير برمائية

جـ- الطيور



ظهرت الزواحف الطائرة في العصر الجوراسي الأسفل وقد انقرضت هذه الزواحف الطائرة في العصر الكريتاسي الأعلى، وأشهر مثال عليها الأركيويتركس الذي كان له مخالب في جناحيه. انظر الشكل (7-8).



الشكل (7-8) : الاركيويتركس

6-7 أسئلة الفصل السابع

1- ماذا تقصد بالأحفورة؟

2- ما المقصود بعلم الأحافير؟

3- ما الشروط الواجب توافرها حتى تكون الظروف مناسبة لتكوّن الأحافير؟

4- كيف تتكون الأحافير؟

5- ما هي فوائد الأجافير؟

6- أذكر أهم أنواع الأحافير النباتية؟

7- ما هي أنواع الأحافير الحيوانية اللافقارية مع ذكر مثال؟

8- ما هي أنواع الأحافير الحيوانية الفقارية مع ذكر مثال؟

9- علل:

1- تمثل أحافير الرأسقدميات أهمية خاصة.

2- أهمية أحفورة الغورا مينغرا.

10- ما هما الشرطان الأساسيان لحدوث التأحفر؟

11- كيف تتأحفر صدفة بحرية.

12- هل يمكن اعتبار الصدفة على شاطئ بحر أحفورة؟ لماذا؟

13- كيف تتأحفر ما يلي؟ قطعة من الخشب، السن، عظمة حيوان.

14- هل طبعات أو آثار سير دودة الأرض أو طبعات الديناصور أحفورة؟ وضح ذلك.

15- ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1- أي من الآتية تمثل أحفورة جسم حيوان؟

أ- دودة أرض دفنت في أعماق الأرض تحت الطين.

ب- جثة قط بقيت شهراً فوق الأرض ثم دفنت تحت الأرض.

جـ- سمكة ماتت وبقيت تحت الماء.

د- محارة ماتت ثم دفنت مباشرة تحت الطين.

2- اكتشف أحمد جذع شجرة متحجرة، وعندما حلّل المادة المتكونة منها وجدها من السيليكا. يعتبر هذا النوع من الأحافير بأنه ....

أ- الطبعات.

ب- البقايا الأصلية للكائن الحي.

جـ- القوالب والنماذج.

د- البقايا المستبدلة للكائن الحي.

3- عندما تتحول النباتات إلى فحم حجري يزداد تركيز...............

أ- الأكسجين. ب- النيتروجين.

جـ- الكربون. د- السيليكا.

4- متى تتكون أحافير الطبعات؟

أ- عند الدفن السريع للحيوان.

ب- إذا حفظت أحفورة الهيكل الأصلي للكائن الحي تحت الطين.

جـ- إذا طبعت آثار أقدام الحيوان فوق الطين ثم ترسبت فوقها طبقة من الطين.

د- إذا طبعت آثار أقدام الحيوان فوق الطين ثم ترسبت فوقها مباشرة طبقة الطين.

5- لعبت البكتيريا والطحالب دوراً مهماً في أحداث الحقبة الحياتية ....

أ- الحديثة. ب- المتوسطة.

جـ- الابتدائية. د- السحيقة.

6- تسبب ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو أضراراً كونية. ما أفضل طريقة لتقليل نسبته؟

أ- زيادة مساحة الرقعة المزروعة بالنباتات.

ب- استخدام الخشب كمصدر لتوليد الحرارة.

جـ- الاستمرار بحرق الفحم الحجري والبترول للحصول على الحرارة.

د- إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة محطات الطاقة النووية.

7- ما هو أصل الطاقة المختزنة في جميع أنواع الوقود الأحفوري؟

أ- بكتيريا التحلل الهوائي. ب- الشمس.

جـ- حرارة باطن الأرض. د- ضغط الطبقات الصخرية.

8- إن أكثر مصادر الطاقة استخداماً في الأردن هي ....

أ- المياه الجارية. ب- الرياح.

جـ- النووية. د- الشمسية.

9- إن المكان الذي يتجمع فيه النفط في باطن الأرض يسمى ....

أ- خزان النفط. ب- بئر النفط.

جـ- مصيدة النفط. د- مستودع النفط.

10- ما هي الحقائق التي يمكن التوصل إليها من الاكتشاف التالي:

(اكتشف العلماء عظام زاحف قديم وعليها طبعات أسنان حادة)

أ- إن الأحفورة من آكلة الأعشاب.

ب- كانت الأحفورة فريسة لحيوان مفترس.

جـ- كانت الأحفورة أسنان حادة.

د- تمثل الأحفورة حيواناً من آكلات اللحوم.

11- يوجد الصخر الزيتي في الأردن لكنه غير مستغل، ويعود السبب في ذلك إلى......

أ- صعوبة استخراجه.

ب- كلفة الاستخراج العالية.

جـ- عدم وجود النفط فيه.

د- استخراج النفط يزيد من تلوث الهواء.

12- إذا كنت مديراً لأحد المصانع أي نوع من أنواع الطاقة تستخدم ....

أ- الشمس. ب- الفحم الحجري.

جـ- الغاز الطبيعي. د- النفط.

13- أي عبارة من العبارات الآتية توضح الفرق بين الفحم الحجري والفحم النباتي؟

أ- يعطي الفحم النباتي كمية أكبر من الحرارة عند احتراقه.

ب- يتميز الفحم النباتي بأنه خشن الملمس بينما الحجري ناعم الملمس.

جـ- يتميز الفحم النباتي بكثافته العالية بينما الحجري ذو كثافة قليلة.

د- يعطي الفحم الحجري كمية أكبر من الحرارة عند احتراقه.

14- أي طبقة من الطبقات الآتية تحتوي على أحافير؟

أ- الرماد البركاني. ب- الحجر الرملي.

جـ- البازلت. د- الجرانيت.

15- ما هو أصل النفط؟

أ- النباتات الصغيرة. ب- الأشجار الضخمة.

جـ- الكائنات الدقيقة. د- الديناصورات.

16- ماذا يحدث عند خلط النفط مع الماء؟

أ- يمتزج النفط مع الماء. ب- تتكون مادة لونها أسود.

جـ- يطفو الماء فوق النفط. د- يطفو النفط فوق الماء.

17- يلاحظ الجيولوجيون أن الغاز الطبيعي يعلو طبقة النف ويفسرون ذلك كما يلي:

أ- إن تكوّن الغاز الطبيعي يسبق تكون النفط.

ب- لأن الغاز الطبيعي هو في الحالة الغازية والنفط سائل.

جـ- إن أصل الغاز الطبيعي من الكائنات الحيّة الدقيقة.

د- يتبخر الغاز الطبيعي من النفط بسبب ارتفاع درجات حرارة أعماق الأرض.

18- تمتلك مياه الشلالات طاقة ....

أ- حركية. ب- وضع.

جـ- حرارية. د- كهربائية.

19- يقوم مبدأ عمل طاحونة الهواء على أساس ...

أ- تحول طاقة الوضع في الرياح إلى طاقة كهربائية.

ب- تحول الطاقة الحركية في المياه الساقطة إلى طاقة كهربائية.

جـ- تحول الطاقة الحركية في الرياح إلى طاقة كهربائية.

د- استغلال طاقة المياه الساقطة والرياح لتوليد الطاقة الكهربائية.

20- كيف تفسر الحقائق التالية: وجود أحافير أسماك في صخور جيرية وفي الوقت نفسه يوجد أحافير نباتات متفحمة في حجر رملي أسفل هذه الصخور في منطقة ما:

أ- إن المنطقة التي وجدت فيها الأحافير كانت بحراً.

ب- كانت المنطقة يابسة في الماضي السحيق.

جـ- إن المنطقة كانت بحرية ثم تحولت إلى يابسة.

د- إن المنطقة كانت يابسة ثم تحول إلى بحرية.

21- بماذا يفيد وجود طبعات أوراق النباتات في حجر جيري في منطقة ما؟

أ- معرفة التغيرات الجغرافية والمناخية للمنطقة.

ب- إن المنطقة التي وجدت فيها الطبعات كانت بحراً في الماضي السحيق.

جـ- إن المنطقة التي وجدت فيها الطبعات كانت يابسة في الماضي السحيق.

د- الكشف عن أنواع الكائنات الحية التي عاشت في المنطقة.

22- تزداد جودة الفحم كما في الترتيب التالي:

أ- الخثّ - الفحم الحجري الصلب - الفحم الحجري البني - الانثراسايت.

ب- الخثّ - الفحم الحجري البنّي- الفحم الحجري الصلب - الإنثراسايت.

جـ- الإنثراسايت - الفحم الحجري الصلب - الفحم الحجري البني - الخثّ.

د- ليس أي مما سبق.

23- ترتبط عملية هجرة النفط بنوعية الصخور التي تحيط به في أعماق الأرض، وقد تبين للعلماء أن تلك الصخور .....

أ- صلبة متماسكة.

ب- تتماسك معاً وتشكل مستودعاً للنفط.

جـ- ذات مسامات وشقوق.

د- يتغير تركيبها تبعاً للمكان الذي يتكون فيه النفط.

24- يشبه الصخر الزيتي النفط في طريقة تكونه وأما الاختلاف بينهما فيعود إلى.......

أ- إن الهيدروكربونات في النفط صلبة.

ب- إن الهيدروكربونات في الصخر الزيتي صلبة.

جـ- يتكون النفط في مكان قريب من سطح الأرض.

د- يتكون الصخر الزيتي في باطن الأرض العميق.

25- يعود سبب الاختلاف بين الأحافير إلى ......

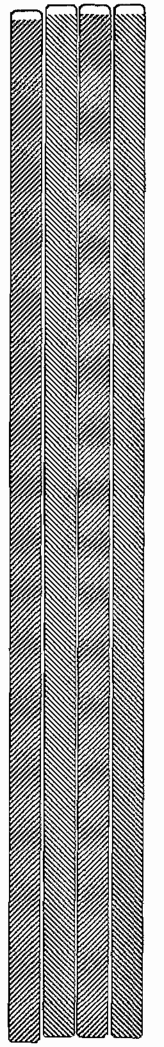
أ- نوع الكائن الحي الذي تكونت منه الأحفورة.

ب- طرق تكون الأحفورة ونوع الكائن الحي الذي كونها.

جـ- البقايا المستبدلة للكائن الحي الذي تتكون منه الأحفورة.

د- طبيعة الطبقات الصخرية التي توجد فيها الأحافير.

الفصل الثامن



تأريخ الأرض

سعى الإنسان وما زال للكشف عن هوية الأرض من حيث أصلها ونشأتها وتاريخ تكونها. وقد تميزت محاولاته العديدة لاكتشاف تأريخ الأرض بربطه بثلاثة عوامل هي الكون والصخور المتنوعة على سطح القشرة الأرضية ومحتوياتها، والحياة السابقة التي حفظت آثارها في الصخور الطباقية. يتناول هذا الفصل تقدير العمر المطلق للصخور وبالتالي تأريخ الأرض من خلال دراسة النظائر المشعة وتأريخ فترات نصف الحياة لها والقوانين والمواد المشعة التي تساعد على ذلك. كما يتناول بالدراسة المسهبة التأريخ النسبي لكوكبنا الأرض من خلال الأحافير المحفوظة ضمن الصخور الرسوبية، ويعرّج على دراسة سلم الزمن الجيولوجي بأزمانه وأحقابه وعصوره والحيوانات والنباتات التي عاشت في كل فترة من فترات تطور الأرض.

8

تاريخ الأرض

8-1 تمهيد

لقد بيّنا في الفصل الأول من هذا الكتاب تحت عنوان تطور الفكر الجيولوجي في القرن التاسع عشر، أن تكاثف جهود العلماء الجيولوجيين قد أدت إلى إرساء العمود الجيولوجي والذي نستطيع منه إيجاد طريقة لدراسة تأريخ تقسيم الزمن الجيولوجي. وتوضح لنا أن هذا التقسيم الزمني ما هو إلا وسيلة لترتيب الأحداث والتغييرات الجيولوجية ترتيباً زمنياً نسبياً يقود إلى فهم التأريخ الجيولوجي للأرض؛ أي وبكلمات أخرى معرفة الأحداث والتغيرات التي أصابت سطح القشرة الأرضية منذ تكونها وحتى عصرنا الحاضر. ويتوقف دراسة هذه التغيرات على أمرين:

1- فهم التغيرات التي طرأت على الكائنات الحية منذ نشأة الحياة على الأرض، وهذه الآثار للحياة محفوظة أدلتها ضمن الصخور الطباقية وغالباً ما تكون من الصخور الرسوبية.

2- فهم الظروف المناخية والتغيرات الجغرافية التي حدثت على سطح القشرة الأرضية مثل انتشار الجبال والبحار والقارات. وأيضاً يساعد في هذا الفهم دراسة الصخور الرسوبية التي توضح فكرة تقسيمات الزمنية للعمود الجيولوجي.

وفي هذا الفصل سنحاول الإجابة على السؤالين الآتيين:

1- كيف يمكننا تحديد العمر المطلق للصخور باستخدام النظائر المشعة؟

2- كيف نحدد الزمن الجيولوجي النسبي باستخدام الأحافير؟

8-2 كيف نحدد العمر المطلق للصخور؟

يرتبط مبدأ تحديد العمر المطلق للصخور بدراسة تفاعلات الانحلال النووي للنظائر المشعّة التي تختبئ بين الصخور. ويمتد الجذر التأريخي لدراسات تفاعل

الانحلال النووي إلى مكتشفات العالم الفرنسي هنري بيكريل (1896م) حول سلوك نظير اليورانيوم المشع؛ فهو قادر على إطلاق أشعة نووية تلقائياً. وقد تبين لبكريل أن هذه الأشعة تتلف أفلام التصوير الفوتوغرافية وتؤين جزيئات الغاز الذي تمر فيها. وهذه الظاهرة الطبيعية عرفت باسم النشاطات الإشعاعية لنظير اليورانيوم المشع. وأفادت الدراسات أن هناك نظائر مشعة للكثير من العناصر التي توجد في القشرة الأرضية.

وأما نظائر العنصر فتعرّف بأنها ذرات العنصر الواحد التي تتشابه بالعدد الذري وتختلف بالأعداد الكتلية؛ أي لها نفس العدد من البروتونات والإلكترونات وتختلف بعضها إلى بعض بعدد النيوترونات الموجودة داخل أنوية ذرات النظائر. فعلى سبيل المثال، يوجد لعنصر اليورانيوم عدة نظائر ومنها ما يلي: نظير اليورانيوم 238 ($^{328}_{92}U$)، ونظير اليورانيوم 235 ($^{235}_{92}U$)، ونظير اليورانيوم 232 ($^{232}_{92}U$).

وتتميز النظائر المشعة للعناصر بأن تركيبها غير مستقر؛ فهي تطلق بصورة مستمرة دقائق (جسيمات) من داخل أنويتها مثل البروتونات والنيوترونات لتتحول إلى عناصر جديدة في بعض الحالات. ويصلحب هذه التفاعلات النووية الانحلالية إنبعاث طاقة حرارية هائلة. وفي وقتنا الحاضر، يستفاد من بعض النظائر المشعة في توليد الطاقة الحرارية، ولذا فتسمى بأنها مولدات أو مصادر للطاقة الذرية أو النووية. والإشعاعات النووية المنبعثة من النظائر المشعة على عدة أنواع ومنها ما يأتي:

1- أشعة (جسيمات) الفا، ويرمز لها بالرمزين $^{4}_{2}\alpha$ أو $^{4}_{2}He$ ، وهي عبارة عن أنوية ذرات عنصر الهيليوم ويوجد بها بروتونان ونيوترونان. إن تفاعل الانحلال النووي التالي يوضح ذلك:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He({}^{4}_{2}\alpha) + \text{Enengy}$$

ويستدل من التفاعل النووي السابق أن نواة ذرة اليورانيوم قد فقدت بروتونين ونيوترونين لتتحول إلى ذرة عنصر جديد هو الثوريوم. ويحدث مثل هذا التفاعل النووي بإطلاق أشعة ألفا من أنوية الذرات الكبيرة والتي غالباً ما تكون غير ثابتة.

2- أشعة (جسيمات) بيتا، ويرمز لها بالرمزين $^{0}_{-1}e$ أو $^{0}_{-1}\beta$ وهذه الجسيمات عبارة

عن إلكترونات سالبة الشحنة. وفيما يلي تفاعل نووي يمثل انبعاث أشعة بيتا:

$$^{87}_{37}Rb \rightarrow {}^{87}_{38}Sr + {}^{0}_{-1}\beta \; ({}^{0}_{-1}e)$$

سؤال: ما التغيرات في الأعداد الكتلية والذرية التي حدثت لنواة ذرة الروبيديوم عند تحوله إلى سترونشيوم؟

3- أشعة جاما، ويرمز بالرمز $^{0}_{0}\gamma$، وعند انبعاثها من ذرة نظير مشع فإن عدده الكتلي وعدده الذري لا يتأثران. وتعتبر أشعة جامعا موجات كهرومغناطيسية وليست دقائق أو جسيمات مادية، وتشبه في كثير من خواصها الأشعة الضوئية والسينية لكنها تتميز بقصر طول موجاتها. ويمكن تمثيل انبعاث أشعة جاما من نظير مشع كما يلي:

$$^{p}_{n}Y \quad \rightarrow \quad {}^{p}_{n}Y + {}^{0}_{0}\gamma$$

نواة مستقرة لنفس النظير   نواة نظير غير مستقرة

وبعض النظائر ذات النشاط الإشعاعي تنحل على عدة مراحل لتصل في نهاية الأمر إلى حالة الاستقرار فتعطي عناصر مستقرة ثابتة لا ينبعث منها أشعة نووية. وعلى سبيل المثال، تنحل ذرات نظير اليورانيوم المشع 238 ثماني مرات بفقد جسيمات ألفا وست مرات بفقد جسيمات بيتا لتتحول إلى ذرات عنصر الرصاص 206 المستقر وهو عنصر غير مشع.

8-2-1 النشاط الإشعاعي وتحديد عمر الصخور

تسمى العناصر المشعة التي تستخدم لقياس أعمار الصخور الساعات النووية. وقد أمكن باستخدام الساعات النووية تحديد العمر المطلق بصورة دقيقة جداً. وللأخذ بمبدأ هذه الطريقة ينبغي مراعاة ما يلي:

1- التأكد من أن كميات العناصر (النظائر) المشعة قد تجمعت دفعة واحدة معاً وأنه لم يحدث ضياع لأي كمية منها نتيجة لعمليتي النقل والتجوية التي تحدث للصخور الخاصة للعناصر المشعة.

2- استخدام طرق دقيقة لتقدير كميات العناصر المشعة؛ فالعينات المتوافرة منها في أعماق الصخور غالباً تكون بكميات قليلة، ولذلك تؤدي الأخطاء البسيطة في

عملية تقديرها إلى أخطاء كبيرة جداً في حساب العمر الزمني لأول وجود لها، وبالتالي أخطاء كبيرة في تقدير العمر المطلق للصخر.

3- رغماً أن معدل انحلال النظير المشع المستخدم في الساعة النووية ثابت، إلا أن عمليات جيولوجية قد تؤدي إلى إضافة أو استبعاد بعض منه ومن العناصر المستقرة الأخرى.

انظر الشكل (8-1) فإنه يمثل ساعة نووية باستخدام نظير الروبيديوم المشع. ولتقدير العمر المطلق للنظير المشع وهو نفسه العمر المطلق للصخر باستخدام الساعة النووية تتبع الخطوات الآتية:

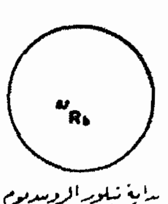
1- تجري عملية تحليل كيميائي لمعرفة كمية النظير المشع والعناصر الثابتة (المستقرة) المتولدة عنه. ففي حالة نظير اليورانيوم المشع الموجود داخل الصخر تحسب كميته الموجودة مع كمية الرصاص الناتجة عن انحلاله نووياً.

2- تحسب كمية كل عنصر ثابت (مستقر) ومشع موجود مع نظير اليورانيوم المشع غير الرصاص إن وجدت.

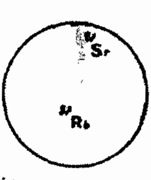
3- تطبق حسابات رياضة لتقدير العمر الزمني للنظير المشع.

2-2-8 قوانين وحسابات النشاطات الإشعاعية

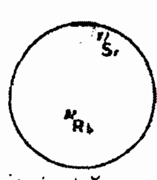
علمنا أن انبعاث دقائق الفا أو بيتا من نواة عنصر (نظير) مشع يؤدي إلى تحويلها إلى نواة عنصر آخر.



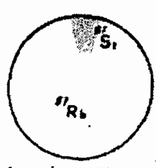
بداية تبلور الروبيديوم



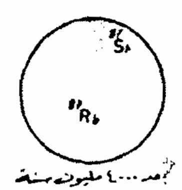
بعد ١٠٠٠ مليون سنة



بعد ٢٠٠٠ مليون سنة



بعد ٣٠٠٠ مليون سنة



بعد ٤٠٠٠ مليون سنة

بعد ٥٠٠٠ مليون سنة

الشكل (8-1) :مراحل تحول الروبيديوم إلى سرونشيوم

وتكون بذلك النواة الأصلية (النواة الأم) قد

انحلت إلى نواة عنصر جديد (النواة البنت). ولكن ما هي القوانين التي تساعدنا في حسابات انحلال العناصر المشعة؟

لنفترض أن لدينا عدداً كبيراً من نوى نظير مشع،وليكن هذا العدد هو (ن .) في لحظة ما، ثم نبدأ بعدها بحسابات الزمن، ولنفترض بعد مرور فترة زمنية (Δ ز) ينحل عدد من نوى الذرات هو Δن . ، ويبقى عدد من النوى لم ينحل بعد وليكن (ن). إن معدل ما ينحل من الأنوية في وحدة الزمن يساوي $\frac{\Delta \text{ن.}}{\Delta \text{ز}}$.

وتسمى هذه الكمية النشاطية الإشعاعية وتعرف بأنها معدل ما ينحل من أنوية عنصر مشع (عن طريق الإشعاع) في وحدة الزمن.

وقد وجد أن النشاطية الإشعاعية للعنصر المشع تتناسب طردياً مع عدد ذراته المتبقية دون انحلال بعد زمن معين؛

أي أن $\text{ن} \propto -\frac{\Delta \text{ن.}}{\Delta \text{ز}}$

أو أن $\text{ل ن} = -\frac{\Delta \text{ن.}}{\Delta \text{ز}}$ .... (1)

حيث أن ل هو ثابت يسمى ثابت الانحلال للعنصر المشع وهو العدد الكسري للنوى التي تنحل في وحدة الزمن، وهذا الكسر يعتبر مقدار ثابت للعنصر الواحد. فعلى سبيل المثال، فإن ل لعنصر الراديوم هي 0.000 428 لكل سنة، أي أنه في أية عينة من عنصر الراديوم – بغض النظر عن تأريخها – فإن كسراً مقداره 0.000428 منها سوف ينحل في السنة التالية. ويختلف الثابت ل من عنصر مشع إلى عنصر مشع آخر.

وبإجراء التكامل للعلاقة (1)

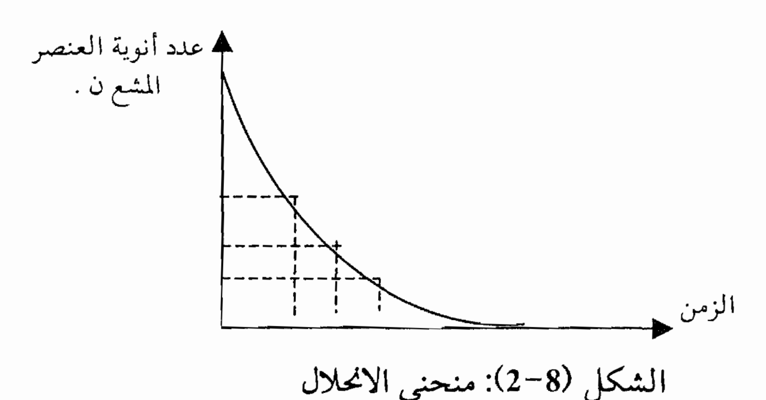
فإن $\text{ن} = \text{ن.} \times \text{هـ}^{-\text{ل ز}}$ ...... (2)

حيث (هـ) أساس اللوغاريتم الطبيعي.

والعلاقة الرياضية (2) تعطي عدد الذرات المتبقية من العنصر المشع بعد مرور زمن معين (ز). ويبين الشكل (8-2) العلاقة البيانية بين عدد الأنوية المتبقية

من أي عنصر مشع وزمن الانحلال.

كما يبين الرسم أن عدد أنوية العنصر المشع تتناقص مع الزمن بصورة أسـية. ويبين الشكل (8-2) أيضاً أن زمن الانحلال لكمية معينة من أنوية عنصر مشع هـو زمن لا نهائي.



الشكل (8-2): منحنى الانحلال

ويستخدم مصطلح هو زمن فترة نصف الحياة (عمـر النصـف) للتعبـير عـن سرعة انحلال العنصر المشع. ويعرّف بأنه الزمن اللازم لانحلال نصف كمية عنصـر مشع إلى عنصر آخر. ويشار له بالرمز (ز $_{\frac{1}{2}}$). وبكلمات أخـرى، إذا وجـد مـن عنصـر مشع عدد أنوية هو ن.فإنه بعد فترة نصف الحياة ينحل منها $\left(\frac{ن}{2}\right)$ ويبقى $\left(\frac{ن}{2}\right)$. وبعـد فترة نصف حياة أخرى ينحل نصف عدد الأنوية المتبقية أي $\frac{1}{2}\times\frac{ن}{2}=\frac{ن}{4}$ ويبقـى $\left(\frac{ن}{4}\right)$ نواة غير منحلة، وهكذا تستمر عملية الانحلال هذه: انظر الجدول (8-1).

الجدول: (8-1)

علاقة فترة نصف الحياة مع عدد الأنوية المتبقية دون انحلال

الفترة الزمنية	ز $_{\frac{1}{2}}$	2ز $_{\frac{1}{2}}$	3ز $_{\frac{1}{2}}$	4ز $_{\frac{1}{2}}$
عدد ذرات العنصر المتبقية دون انحلال	$\frac{ن}{2}$	$\frac{ن}{4}$	$\frac{ن}{8}$	$\frac{ن}{16}$

لعنصر الراديوم المشع فترة نصف حياة هي 1620 سنة، ويعني ذلك أن نصف عدد الأنوية الموجودة من اليورانيوم المشع تنحل إلى عنصر آخر ويبقى نصفها بدون انحلال.

مثال:

يستخدم نظير اليود المشع 131 (^{131}I) في المعالجات الطبية الخاصة بالغدة الدرقية في جسم الإنسان، ولليود فترة نصف حياة هي 8 أيام. افترض أن باحثاً قد حضر 20 ملغرام من اليود المشع (^{131}I) وقام بالاحتفاظ بها لمدة 48 يوماً. كم من اليود المشع (^{131}I) يبقى بعد هذه المدة؟

الحل: تنحل كمية من اليود تصل نصف الكمية الموجودة منه كل 8 أيام. وتتكرر الكمية كما في الجدول التالي:

الزمن باليوم	كمية اليود الموجود بالملغرام
0	20
8	10
16	5
24	2.5
32	1.25
40	0.625
48	0.3125

ولنرجع مرة أخرى إلى العلاقة (2)، إن ن هي عدد الأنوية للعنصر المشع المتبقية دون انحلال وبالتعويض عن (ز) في هذه العلاقة بزمن نصف الحياة ($ز_{\frac{1}{2}}$)

فإن (ن) تتحول إلى $\left(\frac{ن}{2}\right)$.

أي أن

$$\frac{ن}{2} = ن_. \times هـ^{-ل\, ز_{\frac{1}{2}}}$$

وبأخذ لوغاريتم طرفي المعادلة .....

$$- ل\ ز_{\frac{1}{2}} = - لوهـ 2$$

$$\text{أو أن } ز_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{ل} \quad .... \quad (3)$$

ومن هذه العلاقة يتبين لنا أن فترة نصف الحياة تتناسب عكسياً مع ثابت الانحلال للعنصر.

مثال 1:

إذا كانت فترة نصف الحياة لعنصر مشع هي 150 يوماً. جد الزمن اللازمة لانحلال $\frac{7}{8}$ ذراته.

الحل:

بعد 150 يوماً ينحل $\frac{1}{2}$ عدد ذرات العنصر المشع ويبقى نصفها. وبعد 150 يوماً آخر ينحل $\frac{1}{4}$ العدد الأصلي ويبقى $\frac{1}{4}$ عدد الذرات. وبعد 150 يوماً ثالثة ينحل $\frac{1}{8}$ عدد الذرات الأصلي ويبقى $\frac{1}{8}$ عدد الذرات.

أي يحتاج العنصر إلى 450 يوماً لتنحل $\frac{7}{8}$ ذراته.

مثال2:

إذا كانت فترة نصف الحياة لعنصر مشع هي 100 يوماً. جد ثابت الانحلال للعنصر.

الحل:

$$ز_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{ل}$$

$$\therefore 100 = \frac{0.693}{ل}$$

أي أن ل = 6.93×10^{-3} انحلال / يوم

8-2-3 تقدير عمر الصخور والقشور الأرضية

تفيد فترة نصف الحياة للعناصر المشعة المتوافرة في منجم مثلاً في تحديد عمر المنجم. وما يقوم به المتخصصون هو تحليل عينة من خام عنصر مشع وبالتالي تقدير نسب العناصر المتوافرة في هذا الخام ومنها العنصر المشع نفسه، ومن حسابات فترات نصف العمر لهذه العناصر وبالعودة إلى جداول إحصائية خاصة بالانحلال فإنه يمكن تحديد عمر هذا المنجم الذي أخذت منه هذه العينة.

مثال:

عند تحليل عينة من خام عنصر مشع عمر فترة نصف الحياة له 1000 عام وجد أن العينة تحتوي على 25٪ منها من العنصر نفسه، 75٪ منها عناصر أخرى ناتجة عن تحولاته الانحلالية. فكم عمر المنجم الذي أخذت منه عينة هذا العنصر المشع؟

الحل:

تدل كمية وجود العنصر المشع بالعينة وهي 25٪ على انقضاء فترة ضعف فترة نصف العمر لها العنصر. أي أن عمر هذه العينة للعنصر المشع هي 2000 عام عندما كانت في وضعها الأصلي لها قبل حدوث الانحلال.

8-2-4 نظائر تفيد في تقدير العمر المطلق للصخور

تبين وجود عناصر ونظائر مشعة متعددة مدفونة في باطن الصخور وتفيد دراسة نصف الحياة لها في تقدير عمرها المطلق وبالتالي عمر الصخور الحاوية لها.

1- التأريخ بالكربون المشع، لدى دراسة ذرات النيتروجين ($^{14}_{7}N$) الموجودة في الغلاف الجوي يتبين أن تأثير الأشعة الكونية عليها قد يحولها إلى ذرات الكربون المشع ($^{14}_{6}C$)، وإذا تفاعلت هذه الذرات من الكربون المشع مع الأكسجين الموجود في الغلاف الجوي فإنها تتحول إلى جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يختلط مع ما هو موجود فيه في الغلاف الجوي بفعل حركة الرياح. وإذا امتصت أوراق النباتات الخضراء غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يحتوي ذرات الكربون المشع أثناء قيامها بعملية التركيب الضوئي، فإن هذه الذرات تدخل جسم النباتات وخلاياه الحيّة ثم تنتشر إلى أجسام الحيوانات التي تتغذى على النباتات.

ولما كانت نسبة الكربون المشع ($^{14}_{6}C$) ثابتة في الجو، لذا تبقى نسبته أيضاً ثابتة في جسم كل كائن حي، ونتيجة للانحلال الذي يحدث عليه تقل نسبته في أجسام الكائنات الحية بعد موتها. وتبعاً لذلك فيمكن استعمال بقايا هذه الكائنات في تقدير تأريخ الوفاة أي تأريخ بدء تحلل النظير المشع، وبالتالي تقدير العمر المطلق للصخور الرسوبية الحاوية لها.

2- التأريخ بالبوتاسيوم المشع ($^{40}_{19}K$)، ومن المعروف أن هذا العنصر يتحول إلى عنصر الآرجون ($^{39}_{18}Ar$) وله فترة نصف الحياة هي 11,900 مليون عام. ويمكن تبعاً لحساب فترة نصف الحياة في سلسلة البوتاسيوم الآرجون تحديد العمر المطلق للصخور المتنوعة مثل الصخور النارية القاعدية وصخور النيازك وبعض أنواع الصخور الرسوبية. وتفيد هذه الطريقة في حساب العمر المطلق للصخور التي يتراوح عمرها بين 100,000 عام و 3000 مليون عام.

3- التأريخ باستخدام الروبيديوم المشع ($^{87}_{37}Rb$)، يتحول نظير الروبيديوم المشع بفقد جسيم بيتا إلى عنصر استرونشيوم ($^{87}_{38}Sr$)، ولذا تسمى هذه الطريقة بطريقة الروبيديوم استرونشيوم. وتبلغ فترة نصف الحياة لنظير الروبيديوم المشع حوالي 50 مليون عام. وتستخدم هذه الطريقة لتحديد عمر الصخور التي يزيد عمرها على 30 مليون عام، وأيضاً تطبق هذه الطريقة على الصخور التي تحتوي على معادن المسكوفيت والبيوتيت والفلدسبار وهي صخور غنية بعنصر البوتاسيوم، وهذا هام جداً لأن معظم هذه الصخور الحاوية للبوتاسيوم يوجد بها شوائب من عنصر الروبيديوم.

4- استعمال سلاسل انحلال نظيري اليورانيوم المشع ($^{238}_{92}U$) والثوريوم المشع ($^{232}_{90}Th$). فمن المعروف أن هناك ثلاث سلاسل انحلال وفقاً لحسابات هذه الطريقة تفقد فيها النظائر المشعة جسيمات ألفا وبيتا بنسب مختلفة وتستقر هذه السلاسل بالتوصل إلى عنصر الرصاص غير المشع. وتستخدم هذه الطرق لحساب عمر الصخور التي يزيد تأريخها على 100 مليون عام.

3-8 كيف نحدد العمر النسبي للصخور؟

حاول العلماء في القرنين التاسع عشر والعشرين الميلاديين وضع سجل

لتأريخ الأرض يوضح تأريخ نشأتها ووصف تطور الحياة على سطحها، وأيضاً تتابع بناء الطبقات الصخرية المكونة لسطح الأرض. ومن أشهر المحاولات نتائج الدراسات العلمية والعملية التي قام بها عدد من علماء الجيولوجيا ومنهم كوفييه ولامارك وجيمس هتن والعالم الانجليزي وليم سميث. وتوصل هذا الفريق من العلماء إلى عدد من القوانين والمبادئ العلمية التي ساعدت في إرساء سلم الزمن الجيولوجي مثل مبدأ الوتيرة الواحدة، وقانون تعاقب مجموعات الحيوانات والنباتات، ومبدأ تعاقب الطبقات وفرضية الكوارث. ولقد درست منجزات العلماء ونتائج دراساتهم في الفصل الأول والفصل الثالث من هذا الكتاب. ورب سائل يسأل؛ ما هو سلم الزمن الجيولوجي؟ وكيف نتعرف الزمن باستخدامه؟

يعتبر سلم الزمن الجيولوجي بأنه السجل الصخري للأرض الذي يبرز ويوضح تأريخها الطويل، ويشتمل على معلومات توضح التغييرات السريعة والبطيئة التي حدثت عليها، وتفيدنا في دراسة تأريخ الأرض وتحديد الأزمنة الجيولوجية التي مرت بها. وأما صورة هذا السلم فتشبه جدولاً يضم كل التراكيب والطبقات والصخور التي تم معرفتها في مناطق مختلفة من الأرض مرتبة من الأقدم (في الأسفل) إلى الأكثر حداثة (في الأعلى)، وتتميز كل طبقة أو صخور دالة على قسم من أقسام هذا السلم بأنواع معينة من الأحافير لا توجد في أي قسم آخر منه. ويشير هذا السلم إلى التطور التدريجي للحياة عبر تأريخ الأرض الطويل.

ويعود تأريخ نشأة الأرض إلى حالي 4600 مليون عام قسمت إلى وحدات زمنية هي ما يسمى:

1- الازمان، وهي وحدات زمنية كبيرة.

2- الأحقاب، وهي وحدات زمنية أقصر من الأزمان، وكل زمان يضم عدداً من الأحقاب.

3- العصور، وكل حقب يضم عدداً من العصور.

4- عهود وأعمار، ويضم كل عصر عدداً من العهود والأعمار.

وقد استند هذا التقسيم الزمني إلى مبدأين وهما الآتيان:

1- لقد حدثت تغيرات سريعة وكبيرة للحياة على سطح الأرض ورافقها حدوث تغيرات هامة في ظروف البيئة عليه.

2- حدثت حركات أرضية أدت إلى بناء القارات والجبال وصاحبها حدوث عدم توافق أدى إلى الفصل بين صخور كل حقبين متتالين بصورة واضحة.

ومن المعتقد أن أول صور الحياة بدأت على الأرض قبل حوالي 3000 مليون عام، وأولى أشكال الحياة تمثل بحياة بدائية لنوع من البكتيريا اللاهوائية نظراً لعدم وجود الأكسجين في الغلاف الجوي، ومع حدوث تغييرات في هذا الغلاف وظهور غاز الأكسجين فقد ظهرت أولى بشائر الحياة منذ أكثر من 750 مليون عام، وتمثلت بظهور نوع من الكائنات الحية الرخوية خلت أجسامها من هياكل صلبة - وأما صور الحياة التي ظهر فيها هياكل صلبة فكان في الفترة بين 570-600 مليون عام مع بداية عصر الكامبري. وقد اكتشف العالمان البريطانيان سيد جفيك ومارشيسون مستحاثات (أحافير) الترايلوبابيت بين طبقات صخور الكمبري في قرية كمبيا في رومانيا. وصخور الأورودفيشي المتوضعة على صخور الكامبري فقد اكتشف فيها على مستحاثة الجراتيوليت، وكما اكتشفت أحافير لبرمائيات وأسماك في تربة ديفون. وامتدت الدراسات لتتناول صخور البيرمي في روسيا، وصخوور الترایاسي في ألمانيا، وصخور الجوراسي في فرنسا وما إلى ذلك. وقد سميت العصور التي يتشكل منها سلم الزمن الجيولوجي بأسماء معظمها ينسب إلى أسماء الصخور والأماكن التي اكتشفت المستحاثات التي تكشف عن درجة الحياة وتطورها عبر الزمن الجيولوجي.

ويشتمل سلم الزمن الجيولوجي ثلاثة أزمنة هي كما يأتي - انظر الشكل (3-8):

1- زمان اللاحياة (بريكامبري)، ويمتد عبر حوالي 2000 مليون عام من تأريخ الأرض بدءاً من بدء تصلب القشرة الأرضية حتى بداية ظهور الحياة على سطحها.

2- زمان الحياة المستترة، وتمتد الفترة الزمنية لهذا الزمان حوالي 2400 مليون عام. ظهرت فيه حياة بسيطة اكتشفت معالمها بين الصخور القديمة لزمان الحياة المستترة. ويقسم هذا الزمان إلى حقبين هما: حقب الحية السحيقة، وحقب الحياة الابتدائية.

3- زمان الحياة الظاهرة، ويقدر زمنه بحوالي 600 مليون عام حتى وقتنا الحاضر. وتتميز صخور هذا الزمان بوفرة الأحافير فتمكن العلماء منها وضع تصورات واضحة لطبيعة الحياة وصورها وأشكالها خلاله. وكما تميز بوجود نقاط تغير في

درجة الحياة ونوعها على سطح الأرض خلاله مما ساعد العلماء على تقسيمه إلى ثلاثة أحقاب هي كما يلي:

أ- حقب الحياة القديمة وطوله 375 مليون عام.

ب- حقب الحياة المتوسطة وطوله 160 مليون عام.

جـ- حقب الحياة الحديثة وطوله 65 مليون عام.

ماذا بعد ذلك؟ لقد قام العلماء بملاحظة وجود ترتيب للصخور الرسوبية للقشرة الأرضية وفق نظام أو نسق متتابع يتميز بأن كل طبقة صخرية منها لها طبيعة خاصة بها وتحتوي على أحافير معينة، وقد ربط علماء الجيولوجيا هذه الطبقات الصخرية ومستحاثاتها بالعصور الجيولوجية الممثلة لتأريخ الأرض. وبعد ذلك تمّ ترتيب العصور زمنياً وفق زمن تكونها ونشأتها، وهذا الزمن نسبي وليس مطلقاً. ويقال، على سبيل المثال، أن عصر البرمي أحدث نسبياً حسب وضعه في سلم الزمن الجيولوجي من عصر السيلوري - في حين عصر الترياسي أحدث من عصر البرمي.

ويعتبر هذا التقدير النسبي لعمر طبقات الصخور خلال العصور الجيولوجية المختلفة أكثر دقة من التقدير المطلق لعمرها، لأن وجود الأحفورة المعينة ضمن طبقات الصخور لا يمكن تخطئته؛ فظهورها في تتابع معين بين الطبقات في أرجاء المعمورة يعني عصراً جيولوجياً معيناً عاشت فيه في الزمن الجيولوجي، لكن زمن وجودها لا يمكن تحديده بصورة مطلقة بل هو تقريبي نسبي.

وتؤكد نتائج دراسة صخور العصور الجيولوجية المتتابعة وجود اختلافات في الطبقات والتراكيب الصخرية، فكل طبقة منها تتميز عن غيرها بنوعية صخورها وتركيبها ومكوناتها ومحتوياتها واحتفاظها بمجموعات هامة من الكائنات الحيوانية الأحفورية تمثل حدوداً معينة في التتابعات الجيولوجية، مما سهلّ عملية تقسيم المجموعات الصخرية وتصنيفها إلى مجموعات بدءاً من الصخور النارية، وهذه المجموعات يوضحها سلم الجدول الزمني الجيولوجي في الشكل (8-3). وتفيد دراسة مجموعات الصخور عبر العصور المختلفة ما يأتي:

أولاً: تقسم الصخور النارية المعروفة باسم صخور البريكامبري إلى قسمين وهما:

أ- القسم الأسفل ويعرف بصخور الدروع ويمثل زمان اللاحية ويقدر بحوالي 200 عام.

الزمن	الحقب	العصر	العهد	انتشار أنواع الحياة فى الزمن الجيولوجي	مميزات العصر
زمن الحياة الظاهرة 600 مليون سنة	حقب الحياة الحديثة 35 مليون سنة	الرابع عصر النيوجين	البليستوسين (الحديث) 2 مليون سنة	- سيادة الإنسان الحديث	- عصر الإنسان
			البليوسين 5 مليون سنة	- النباتات الزهرية - النباتات غير المزهرة	- ظهور الإنسان - عصر الجليديات
			الميوسين 19 مليون سنة	- الحيوانات اللافقارية - الزواحف والطيور	-عصر الثديات - رفع الجبال
		الثالث عصر الباليوجين	الأليجوسين 11 مليون سنة	- الأمغبيا - انتشار الطيور	-ظهور القرود
			الأيوسين 16 مليون سنة	- الحيوانات اللافقارية والأسماك - امتداد السرخسيات	- عصر النوموليت
			اليوسين 12 مليون سنة	- السرخسيات - سيادة الأسماك	- بدء ظهور الحياة الحديثة
	حقب الحياة المتوسطة 160 مليون سنة	الثاني	الطباشيري 70 مليون سنة	- ظهور النباتات الزهرية	-اندثار الزواحف - بدء النباتات الزهرية
			الجوراسي 60 مليون سنة	- انتشار اللافقاريات - انتشار الزواحف	- عصر الزواحف الكبرى
			الترياسي 20 مليون سنة	- انتشار اللافقاريات - ظهور الأسماك - ظهور السرخسيات	- عصر الصحارى فى أوروبا
	حقب الحياة القديمة 375 مليون سنة	الأول	البرمي 55 مليون سنة	الزواحف	- عصر البرمائيات وظهور الزواحف
			الكربوني65 مليون سنة	ظهور البرمائيات	- عصر الفحم الحجرى
			الديفوني50 مليون سنة	- سيادة النباتات اللازهرية	- عصر الأسماك
			السيلوري10 مليون سنة	- شيوع النباتات اللازهرية	- بدء ظهور الأسماك والعقارب
			الأردونيسي35 مليون سنة	- ظهور النباتات الزهرية	- عصرالجرابتوليت
			الكمبري 100مليون سنة	ظهور حيوانات لافقارية	- عصر الترايلوبيت - ظهور اللافقاريات
زمان الحياة المستترة 2400 مليون سنة	حقب الحياة الإبتدائية 1400 مليون سنة			أنواع دنيئة رخوية من الأحياء أغلبها نباتية مثل الطحالب الجيرية	- صخور 5 من الكوارتزيت والأردواز - حدثت فيه عمليات حت لأزمنة طويلة - حدثت فيه حركات أرضية كبرى
	حقب الحياة السحيقة 1000 مليون سنة			يوجد دليل على حياة ضعيفة لعدم وجود أدلة أو بقايا عضوية	- صخوره من الجرانيت والنايس
زمان اللاحياة 200 مليون سنة	حقب اللاحياة			لا وجود للحياة	-تكونت فيه أقدم أنواع الصخور - تكون بحار وجبال

الشكل (8-1): سلم الزمن الجيولوجي

ب- القسم الأعلى ويعرف بحقبة الحياة المستترة وتقدر بحوالي 2400 مليون عام، وتقسم صخور هذه الحقبة إلى صنفين وهما:

1- القسم الأسفل وهو ما يعرف بزمن الحياة السحيقة ويقدر بحوالي 100 مليون عام، وصخوره من الجرانيت والنايس.

2- القسم الأعلى ويعرف بحقبة الحياة الابتدائية ويقدر عمرها بحوالي 1400 مليون عام، وصخوره من الكواتز، والأردواز والريوليت والحجر الجيري، وظهر بينها أنواع من الديدان الأولية والفطريات.

ثانياً: وجد حدٌّ فاصل بين الصخور النارية (البريكامبري) وما تلاها من صخور تميزت بوجود مستحاثات، وصنفت الصخور الجديدة إلى صور زمان اللاحياة ثم يتلوه زمان الحياة. وأطلق على هذه الفترة ممثلة بقسميها حقبة الحياة القديمة، وقد استغرقت حوالي 375 مليون عام، وتميزت بفترات تجوية وتعرية طويلة رافقها انقراض لأنواع الحياة التي ظهرت فيها.

ثالثاً: صخور الترياسي والجوراسي والكريتاسي، ويطلق عليها اسم حقبة الحياة المتوسطة، ويُقدر عمرها بحوالي 160 مليون عام وتميزت بانتشار الدايناصورات والطيور الزاحفة، ثم انتهت بفنائها وإنقراضها.

رابعاً: صخور العصرين الثلاثي والرباعي، ويقدر بحوالي 65 مليون عام، وتميز بما يلي:

أ- ظهور الحيوانات الثدية التي حلت محل الديناصورات والطيور.

ب- ظهور نباتات شجرية ذات طابع متميز.

جـ- انتشار الطفوح البركانية التي رافقها بناء تضاريس مثل البحر الأحمر وخليج العقبة والسويس وحفرة الانهدام العربية الإفريقية وصخرة الانهدام الأردنية السورية اللبنانية من جبال طوروس إلى البحر الميت مروراً بوادي عربة ونهر الأردن وسهل البقاع.

د- حدوث تغيرات في مناخات سطح الأرض.

وبالعودة إلى سلم الزمن الجيولوجي الشكل (8-3) يتبين لنا أن صخور

الحقبات القديمة والمتوسطة والحديثة تسمى بزمان الحياة الظاهرة، ويُقدر عمرها بحوالي 600 مليون عام.

وفيما يأتي سنتناول بالدراسة محتويات سلم الزمن الجيولوجي من عهود وأحقاب وأزمنة:

أولا: زمان اللاحياة

يقدر العلماء فترة زمان اللاحياة بحوالي 2000 مليون عام، وتمثل الزمن الذي احتاجته الأرض منذ كانت كتلة غازية عندما انفصلت عن سحابة السديم حتى تصلبت قشرتها الخارجية وبدأ معها ظهور الحياة. ولم يعثر العلماء على أي دليل مباشر أو غير مباشر لوجود آثار للحياة في هذا الزمان، وقد يعود أسباب ذلك إلى أن الأرض قد عانت من درجات حرارة عالية حين كانت القشرة الأرضية في بداية تكونها وتصلبها، إضافة إلى انطلاق كميات هائلة من المواد الصهارية والغازات والأبخرة ومنها بخار الماء الذي تكاثف وسقط على صورة أمطار ملأت البحار والمحيطات. ثم تعرضت الصخور النارية التي تكونت منها قشرة الأرض إلى عمليات تجوية وحت (تعرية) وتفتيت ونقل وترسيب ليتكون من نتيجة ذلك الصخور الرسوبية. كما تعرضت صخور القشرة الأرضية إلى عمليات وحركات أرضية شديدة ساعد في تكوين الجبال.

وخلاصة القول، يعتقد العلماء أن في زمان اللاحياة تكونت الجبال الأولى، وظهرت أولى القارات، وتكون الغلاف الجوي والبحار، وعانت القشرة الأرضية من تغيرات في الظروف المناخية وبذلك تهيأ سطح الأرض لاستقبال الحياة. وأما الصخور النارية والمتحولة لهذا الزمان فقد شكلت مناطق قليلة الارتفاع وسماها الجيولوجيون الدروع الصخرية، كما سبق أن أسلفنا في الفصل الثاني من هذا الكتاب تحت عنوان نشأة الأرض.

ثانيا: زمان الحياة المستترة

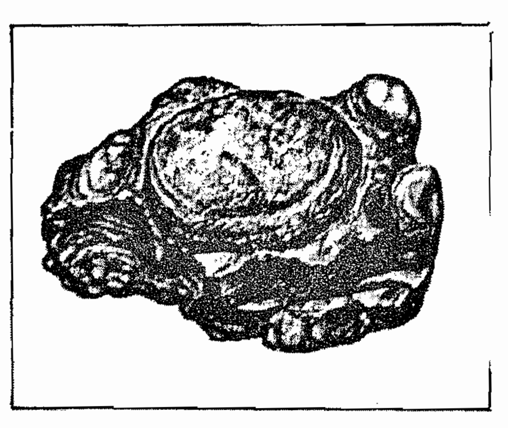
ويقدر العلماء فترة هذا الزمان بحوالي 2400 مليون عام تأتي بعد زمان اللاحياة من عمر الأرض. وقد عثر في بعض صخور هذا الزمان على آثار بحرية بسيطة التركيب وبأعداد قليلة ولا تتميز بتركيب عضوي واضح مثل الطحالب والفطريات والبكتيريا وبعض أنواع من الديدان.

وبقايا الحياة في هذا الزمان كما وجدت في صخوره القديمة قليلة العدد وبسيطة التركيب، وقد تمايزت وازدادت تعقيداً في صخوره الأحدث، ولهذا فقد قسم هذا الزمان إلى حقبين متتالين وهما الآتيان:

1- حقب الحياة السحيقة

امتد هذا الحقب حوالي 1000 مليون عام من عمر الأرض. وتألفت صخور القشرة الأرضية من صخور رسوبية رملية داكنة معظمها من الكونجلوميرات والجريوال بدرجة قليلة، وأما غالبية الصخور فهي عبارة عن صخور نارية مثل الجرانيت ومتحولة مثل النايس. وأما آثار الحياة فكانت عبارة عن عقد جيرية دقيقة تتركب من كربونات الكالسيوم ملتفة حول نقطة مركزية، ويسود الاعتقاد بأن هذه العقد قد ترسبت بفعل طحالب زرقاء بحرية قديمة أو بكتيريا. ويعزى ذلك إلى أن الطحالب الزرقاء التي تعيش في أيامنا الحاضرة في مياه عذبة تكون مثل هذه العقد الجيرية، وعليه فيعتقد العلماء بأن البحار الأولى التي ظهرت على سطح الأرض كانت مياهها عذبة. انظر الشكل (8-4) .

وقد تعرضت الأرض خلال حقب الحياة السحيقة إلى حركات أرضية عنيفة بانية للجبال والقارات، ثم تلا ذلك فترة طويلة من حدوث عمليات التعرية التي تحولت خلالها الجبال إلى تلال وهضاب. وتتمثل صخور هذه الحقبة بصخور الدرع العربي الإفريقي الممتد بين شبه الجزيرة العربية وإفريقيا وهو ما يعرف بالدرع العربي.



الشكل (8-4): عقد جيرية من صخور حقب الحياة السحيقة

2- حقب الحياة الابتدائية

واستمرت هذه الحقبة حوالي 1400 مليون عام بعد حقب الحياة السحيقة،

وأما آثار الحياة التي وجدت بين صخوره فكانت عبارة عن بقايا نباتات بحرية مثل الطحالب، والبكتيريا، والفطريات إضافة إلى بقايا أحفورية لحيوانات لا فقارية بحرية مثل قنديل البحر، والديدان البحرية، والاسفنج.

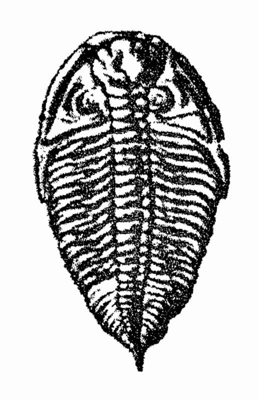
ومعظم صخور هذا الحقب عبارة عن صخور متحولة من أصل رسوبي مثل الكوارتزيت والرخام والأردواز، وهناك الصخور الرسوبية مثل صخور الكونجلوميرات وجريوداك. وقد عاصر تكون هذه الصخور حركات أرضية صاحبها تداخل بالصخور النارية الضخمة، وكان آخر هذه الحركات ما عرف بالحركة الهورونية التي نتج عنها بناء سلاسل جبلة عرفت بالسلسلة الهورونية، مما أدى إلى انحسار ماء البحار عن مناطق واسعة من العالم.

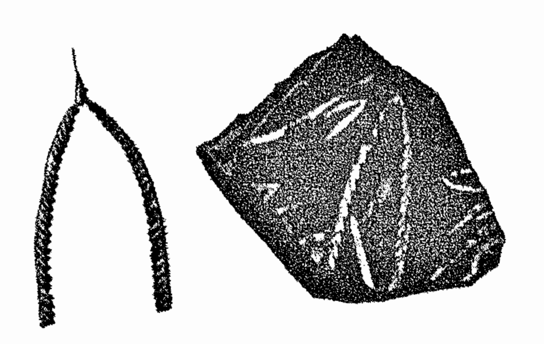
ثالثا: زمان الحياة القديمة

امتدت الفترة الزمنية لهذا الزمان حوالي 600 مليون عام من عمر الأرض، وهو الزمان الذي يبدأ من حقب الحياة الابتدائية إلى وقتنا الحاضر. ومن أهم مميزات هذا الزمان انتشار الكائنات الحية بصورة واسعة والتي وجدت أحافيرها من حيوانات ونباتات بين الطبقات الصخرية وكانت جيدة التأحفر واضحة التركيب. كما لوحظ تطور صور الحياة فيه مع ما صاحبها من تعقيد ورقي في أجهزة وجسم هذه الكائنات الحية الأحفورية. ويبين سلم الزمن الجيولوجي بأن هذا الزمان مقسم إلى ثلاثة حقب هي حقب الحياة القديمة، وحقب الحياة المتوسطة، وحقب الحياة الحديثة.

1- حقب الحياة القديمة

امتدت هذه الحقب حوالي 375 مليون عام، وظهرت فيه أنواع من الكائنات الحية تختلف عما هو موجود منها في وقتنا الحاضر بسبب إنقراضها مع نهايته. وتفيد دراسة الأحافير أن الحياة كانت في بدايته بحرية ثم انتقلت مع نهايته إلى اليابسة. وكانت الحيوانات اللافقارية بكافة طوائفها ورتبها هي الحياة الأكثر وضوحاً فيه، ولهذا سماه علماء الأحافير بحقب اللافقاريات، ومن أمثلتها المرجان الرباعي، والترايلوبيت (حيوانات مفصلية عاشت في البحار)، والعقارب البحرية. انظر الشكل (8- 5).





أحفورة الترايلوبيت　　　　　جرابتوليت

الشكل (8-5) : أحفورات من حقب الحياة القديمة

أما الحيوانات الفقارية التي ظهرت في هذا الحقب فهي الأسماك المدرعة، وأنواع من الزواحف صغيرة الحجم بسيطة التركيب، والبرمائيات.

وبالنسبة للنباتات، فقد بدأت على صورة نباتات مائية بدائية مثل الطحالب في بدايته ثم انتقلت من الماء إلى اليابسة وظهرت أنواع من النباتات اللازهرية، العشبية ثم تلاها نباتات لا زهرية شجرية مثل السرخسيات والتي غطت مساحات واسعة من سطح الأرض، ومنها تكونت فيما بعد طبقات الفحم الحجري بين طبقات الصخور في أنحاء متعددة من العالم.

وقد ظهر في هذا الحقب نوعان من الحركات الأرضية، وهي كما يأتي:

أ- الحركة الكاليدونية، وقد أدت هذه الحركة إلى انحسار ماء البحر وزيادة مساحة اليابسة، كما صاحبها بناء سلاسل جبلية تعرف بالجبال الكاليدونية. ومن المعتقد أن من أهم آثار هذه الحركة انتقال الحياة من الماء إلى اليابسة.

ب- الحركة الهرسينية، وحدثت على صورة حركة واقعة لقيعان الكثير من البحار ليتكون منها سلاسل جبلية عالية هي الجبال الهرسينية التي امتدت من أمريكا الشمالية في مناطق جبال الأبلاش، وجزء من قارة أوروبا.

وقد أدت هاتان الثورتان من الحركات الأرضية إلى تقسيم هذا الحقب إلى قسمين وهما: حقب الحياة القديمة المبكر وحقبة الحياة القديمة المتأخر. ومن أهم آثارها ارتفاع مناطق منخفضة من الأرض إلى مناطق مرتفعة وتغير المناخ من الدافئ

الرطب إلى البارد الجاف. كما أن من أهم ما صاحبها تقطيع البحار الكبيرة ليتكون نتيجة ذلك بحار مغلقة زاد فيها تركيز الأملاح في الماء. وجميع ما سبق أدى إلى انقراض أنواع من الحياة الحيوانية والنباتية.

سؤال: ما هي العصور التي يتكون منها حقب الحياة القديمة؟

2- حقب الحياة المتوسطة

امتد هذا الحقب حوالي 160 مليون عام من حياة الأرض. ويضم حقب الحياة المتوسطة ثلاثة عصور جيولوجية هي من أسفل إلى أعلى: الترياسي، والجوراسي، والكريتاسي. وتميزت الكائنات الحية التي ظهرت في هذا الحقب بأنها أكثر تمايزاً وتطوراً ورقياً من أسلافها التي عاشت في حقب الحياة القديمة، وفي الوقت نفسه، فهي أقل رقياً من الكائنات الحية المماثلة التي عاشت في حقب الحياة الحديثة، وهذه الكائنات الحياة هي أسلاف لما ظهر من أنواع في حقب الحياة الحديثة. ومن أهم مميزات الكائنات الحية وأنواعها ما يلي:

1- في بداية هذا الحقب ظهرت أنواع جديدة من الرأسقدميات ذات الأصداف الملتفة والمستقيمة، وقد انتشرت انتشاراً واسعاً حتى باتت أحافيرها مميزة لصخور هذا الحقب.

2- انتشرت بصورة واسعة كل من الزنابق البحرية، والمرجان السداسي، والقواقع، والجلد شوكيات، والجوفمعويات.

3- انتشرت النباتات مغطاة البذور وما زال البعض منها يستمر في حياته مع هذا الحقب الحديث، كما شاعت النباتات الزهرية معراة البذور مثل الصنوبريات.

4- شاعت الكائنات الحية المجهرية مثل الفورا منغيرا.

ويتميز هذا الحقب المتوسط بتطور أنواع ورتب من حيوانات فقارية ومنها ما يأتي، انظر الشكل (8- 6):

1- شاعت الأسماك العظمية ومنها الأسماك الرئوية التي عاشت في الحياة العذبة.

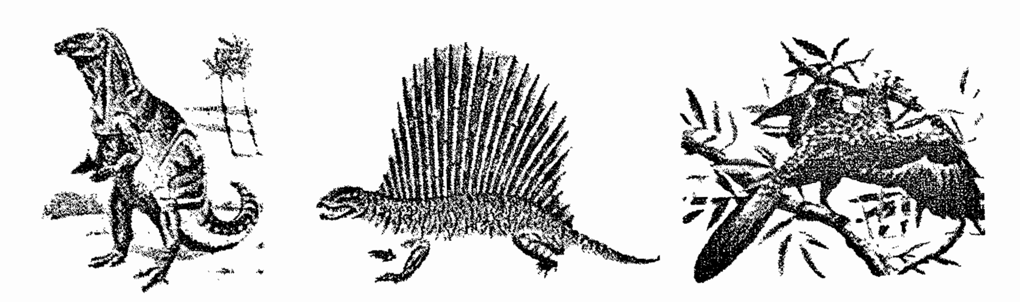
2- انقرضت البرمائيات الضخمة وبقي منها البرمائيات الصغيرة مثل الضفدع.

3- ظهر نوع من الطيور ذات الأسنان، ويعتقد العلماء بأنها مرحلة من التطور

الحيواني بين الزواحف والطيور.

4- شاعت الزواحف وانتشرت في بيئات مختلفة فبعض أنواعها عاش على اليابس والبعض منها في الماء وبعضها عاش في الجو. أما زواحف اليابسة فقد عرفت بالديناصورات.

5- شهد هذا الحقب ظهور أنواع أولية من الحيوانات الثدية.



اركيوبتركس بليكورسور اجوانودون

الشكل (8-6): حيوانات فقارية من الحقب المتوسطة

ومع نهاية حقب الحياة المتوسطة تأثرت الأرض بحركات أرضية عرفت باسم الحركة الألبية الثلاثية، كما شهد اندفاعات بركانية شديدة. وكان من أهم نتائجها بناء جبال الألب والهملايا وأطلس، وانقرض مجموعات من الحيوانات الرأسقدمية والديناصورات. ويعتقد أن للانقلاب المغناطيسي للمجال الأرضي وللدخول الأشعة فوق البنفسجية القاتلة دور في ذلك.

3- حقب الحياة الحديثة

امتد فترة هذا الحقب منذ 65 مليون عام حتى وقتنا الحاضر. وقد مر بفترات تغيرات هامة في توزيع ظروف البيئة نتيجة للحركة الألبية في حقب الحياة المتوسطة.

وأهم مظاهر الحياة التي ظهرت خلال هذا الحقب ما يأتي:

1- شاعت أنواع الحيوانات الفقارية جميعها التي نعرفها في وقتنا الحاضر مثل الرأسقدميات والقواقع والحشرات.

2- شاع نوع من عائلة الأوليات المعروفة بالفورامينفرا في بداية الحقب وانقرضت

مع نهايته، وتكون من ترسيب هياكلها الجيرية طبقات سميكة من الحجر الجيري.

3- ظهرت الأسماك العظمية بصورة واسعة.

4- انقرضت الزواحف الضخمة وبقيت الزواحف صغيرة الحجم مثل التماسيح والأفاعي.

5- انقرضت الطيور ذات الأسنان لتحل محلها الطيور الحالية.

6- شاعت الثديات مع بداية حقب الحياة الحديثة.

ومنذ حوالي مليون عام من وقتنا الحاضر خلق الله الإنسان على سطح الأرض، وتدل الدراسات في علم الإنسان وجود هياكله العظمية وأدواته في داخل الكهوف والأنهار القديمة.

وأما الحياة النباتية فقد تنوعت وشاعت النباتات الزهرية البذرية على حساب انحسار النباتات معراة البذور مثل المخروطيات والسرخسيات والتي سادت في المناطق الباردة.

وقد استمرت الحركات الأرضية امتداداً لحقب الحياة المتوسطة مما أدى إلى رفع الجبال العظيمة مثل جبال الألب وجبال هملايا وجبال أطلس، ونتيجة لذلك فقد انحسر ماء البحر عن كثير من المناطق لتتشكل القارات بصورتها الحالية، وشهدت هذه الحقبة نشاطاً للبراكين في كثير من بقاع الكرة الأرضية. وما يدلل على ذلك انتشار الصخور النارية بين طبقات الصخور الرسوبية الأكثر حداثة منها.

وفي نهاية عصر البليستوسين حدث تحول في المناخ فأصبح بارداً جداً يشبه مناخ المناطق القطبية، مما نتج عن ذلك امتداد الجليد ليغطي مسلحات واسعة من النصف الشمالي للكرة الأرضية، وقد سمي هذا بالعصر الجليدي. أما مع نهاية هذا الحقب فقد انحسر الجليد في المناطق الشمالية والجنوبية من سطح الكرة الأرضية وبقي مغطياً لقمم الجبال العالية.

4-8 كيف نقرأ تأريط الأرض؟

يرتبط تاريخ الأرض بدراسة سلسلة التغيرات والحوادث التي تعرضت لها الأرض في الماضي ثم تحديد سير السلسلة عبر الزمن. والسؤال الذي يطرح نفسه

هنا هو: كيف يمكننا اكتشاف الأحـداث والتغـيرات الجيولوجيـة الـتي حدثـت قبـل ملايين بل مئات وآلاف الملايين من السنين؟

تعتبر صخور القشرة الأرضية بأنها سجل سجلت فيه الحـوادث والتغـيرات التي حدثت على هذه القشرة. وتتميز الآثار التي خلفتـها هـذه الحـوادث بـالوضوح، بحيث تمكن الباحث من قراءتها بسهولة ويسر. إن معظـم مـا تعرضـت لـه القشـرة الأرضية من حركات أدت إلى تجعد الصخور أو تشوهها أو تكسـرها أو مـا أصابـها من ثورات بركانية يمكن قراءته من خلال متابعة الآثار المرسومة على هذه الصخور. وهناك الأحافير الحيوانية والنباتية التي حفظت صورها بين ثنايا الطبقـات الصخريـة تمكننا من قراءة للأحداث التي تساعد على اكتشاف تأريخ القشرة الأرضية.

ومما سبق ومن غيره فإنه يمكن قراءة تأريخ الأرض عبر دراسة صخور القشـرة الأرضية من حيث طبيعتها وطرق تكونها والظروف والعوامـل الـتي أدت إلى ذلـك، ثم معرفة ما طرأ عليها من تغيرات بعـد تكونـها. وفيمـا يلـي بعـض المبـادئ الـتي تساعد في قراءة تأريخ الأرض:

1- تتشكل القشرة الأرضية من صخور تختلـف في طبيعتـها ومكوناتـها وحبيباتـها ودرجة صلابتها.

2- تعتـبر الطبقـات الصخريـة الأمـاكن الـتي حفظـت فيـها آثـار الحيـاة القديمـة (الأحافير)، ودراستها تفيد في توضيح الأحداث والتغـيرات الـتي حدثـت علـى سطح القشرة الأرضية منذ الزمن السحيق.

3- تعكس صخور القشرة الأرضية الحركات الأرضية، حيث أن لكلّ حركة مدلولهـا الذي يظهر على هذه الصخور.

4- تشكلت طبقات الصخـور والـتراكيب الجيولوجيـة الأخـرى بتأثـير العمليـات الخارجية المؤثرة فيها مثل التجوية والحت.

وتفيد دراسة بيئات الصخور من أنواعها الثلاثة؛ ناريـة ورسـوبية ومتحولـة، معرفة الفترات الزمنية التي تكونت فيها؛ فالصخور الناريـة تكونـت نتيجـة بـرودة وتصلب الصهارة الصخرية (الماجما) على سطح القشرة وفي أعماقها، وأن مـن شـأن دراسة بيئاتها التوصل إلى معلومات تفيد في دراسة تأريخ الأرض.

والصخور الرسوبية تتكون غالباً في بيئة مائية أو قريباً منها مثل بيئة البحار والمحيطات على أطرافها وفي أعماقها، وأيضاً تعتبر البحيرات الداخلية وأماكن توافر المياه العذبة هي بيئات أخرى للصخور الرسوبية. ولا يخفى أهمية دراسة تكون الصخور الرسوبية في اكتشاف والتعرف إلى البيئات التي ساعدت في هذا التكون وبالتالي معرفة تأريخ الأرض منها ومن محتوياتها من الأحافير.

وقد علمنا من الوحدة السادسة أن لكل بيئة من البيئات السابقة صخور خاصة بها تميزها عن بيئات أخرى، وقد يفيدنا معرفة نوع معين من الصخور على بيئته القديمة من حيث وجود حياة سابقة مميزة له يحتفظ بها هذا النوع من الصخور. ولعلنا نتوصل أنه من دراسة الصخور نتمكن من معرفة تأريخ الأرض. ومن بعض المظاهر والدلالات التي تساعد فيها الصخور اكتشاف تأريخ المكان خصائص الصخور التالية:

1- دراسة الأحافير وآثار الحياة التي تضمها هذه الصخور (الأحافير).

2- التوصل إلى ترتيب الطبقات الصخرية تبعاً لزمن تكونها فالصخور الأقدم تأتي في الأسفل والأكثر حداثة في الأعلى.

3- معرفة التراكيب الجيولوجية المختلفة التي توجد فيها هذه الصخور مثل الطيات والصدوع والتوافق والبنيات الأولية منها.

4- التركيب المعدني والكيميائي والبلوري للصخور وحجم حبيباته.

وإن اكتشاف بقايا الحياة وآثارها وكيفية تكون الصخور تساعد الباحث على التعرف على التأريخ الجيولوجي للمنطقة شريطة أن يطبق بعض المبادئ والقواعد العلمية ومنها التالية:

المبدأ الأول: مبدأ تعاقب الطبقات

ويشير هذا المبدأ إلى كيفية تكون وترتيب الطبقات الصخرية وينص على أنه (عند متابعة الصخور الرسوبية تترتب طبقاتها بحيث تكون الطبقة الأكثر حداثة في الأعلى والأقدم في الأسفل، ما لم تحدث قوى أو حركات تؤدي إلى تغيير نظام تتابعها الأصلي أو إنقلابها).

وبناء على هذا المبدأ فإن التتابع الزمني للطبقات يكون معروفاً بحيث يكون

الأقدم تحت الأحدث، سواء كان وضعها أصلياً كما كان عند تكونها أو في حالة انثنائها ثنياً حفيفاً بتأثير القوى المعينة. وفي التراكيب الجيولوجية الثانوية قد يتغير هذا الوضع فقد تتحول الطبقات الأقدم لتأخذ وضعاً أعلى من الطبقات الأحدث منها كما في حالة الإنهيارات الأرضية، والطيات المضطجعة، والصدوع المعكوسة.

المبدأ الثاني: مبدأ تتابع مجموعات الحيوانات والنباتات

وينص على أن (كل طبقة من طبقات الصخور الرسوبية تحوي أحافير لأنواع محددة من الكائنات الحيوانية والنياتية تختلف عن الطبقات الأقدم والأحدث منها. وكل الطبقات الرسوبية التي تحوي الأنواع نفسها من الأحافير لها العمر الجيولوجي نفسه).

وقد أثبتت الدراسات أن لكل طبقة من الطبقات الصخرية الرسوبية مجموعة من الأحافير الخاصة بها تميزها عن غيرها من الطبقات، وأن لهذه الأحافير تتابعاً معيناً في جميع مناطق المعمورة. فعلى سبيل المثال، تشبه الأحافير التي وجدت في أقدم الطبقات في آسيا مثيلاتها من الأحافير في أقدم الطبقات في القارتين الأمريكيتين وافريقيا واستراليا، وعلى ذلك فإنه يمكننا مقارنة المحتوى الأحفوري للطبقات الصخرية الرسوبية في أماكن متباعدة من بقاع الأرض، وبالتالي فإنه يمكننا أيضاً تحديد موقع كل طبقة في التتابع الزمني لتأريخ الأرض بغض النظر عن الخصائص المعدنية والكيميائية للصخور. وهذا ما بدأ به العالم وليم سميث عندما رسم أول خريطة جيولوجية لتكوينات مدينة لندن في بريطانيا ثم تبعه علماء آخرون تمكنوا من وضع تتابع معين لطبقات الصخور ساعدهم على تقسيم تأريخ الأرض إلى مجموعات ونظم صخرية أدى إلى إرساء سلم الزمن الجيولوجي.

المبدأ الثالث: مبدأ الوتيرة الواحدة

لقد سبق لنا التعرض إلى دراسة هذا المبدأ في الفصلين الأول والثالث من هذا الكتاب.

سؤال: ما نص مبدأ الوتيرة الواحد؟

وقد عرف هذا المبدأ بأسماء كثيرة ومنها (مبدأ المنوال) و(مبدأ الحاضر مفتاح الماضي)؛ وعليه فإنه يمكن تفسير سبب تكون التراكيب الصخرية التي حدثت في

الماضي وما حدث عليها من عمليات حت وتجوية استناداً إلى القوانين العلميـة الـتي نستخدمها في عصرنا الحاضر لتفسير مشاهدات مماثلة.

المبدأ الرابع: الاحتواء

يوضح هذا المبدأ فكرة انتشـار القطـع الصخريـة بـين الـتراكيب الصخريـة المتلامسة وينص على أن (إن التركيب الصخري الذي يحوي قطـع صخريـة منقولـة من تركيب صخري أخرى يعتبر فيها التركيب الصخري الـذي نقلـت إليـه القطـع الصخرية الأكثر حداثة من التركيب الصخري الذي أخذت منه هذه القطع.

المبدأ الخامس: مبدأ المضاهاة

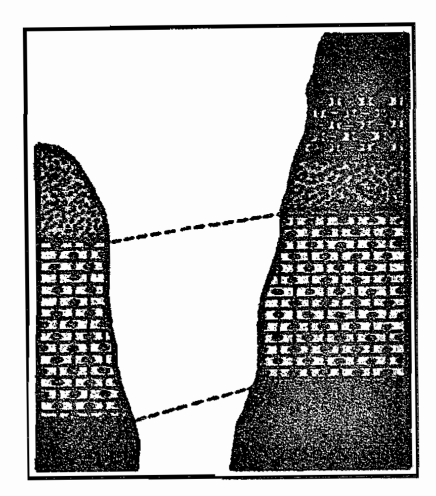
يلجأ الجيولوجيون إلى مقارنة (مضاهاة) صخور منطقة ما مـع صخـور منطقـة أخرى للكشف عن تأريخ المنطقة الجيولوجي، وتعتبر هذه الطريقة الأكثر اسـتخداماً لمعرفة السجل الجيولوجي للمنطقة. وينص مبدأ المضاهاة أنه:

(يمكن إيجـاد درجـة التشـابه بـين الوحـدات الصخريـة الموجـودة في المنـاطق المختلفة من حيث تركيبها المعدني والكيميـائي واحتوائـها علـى الأحافـير ومـا إلى ذلك).

وهناك ثلاثة أنواع من المضاهاة (المقارنـة) تسـتخدم للكشـف عـن التـأريخ الجيولوجي للمنطقة وهي الآتية:

1- المضاهاة الصخرية

قد يواجه الجيولوجي في عمله الميداني وجود عدة تتابعات صخرية فيلجـأ إلى الربط بينها على أساس من درجة التشابه بينها في اللون ودرجة التماسك والسمك والتركيب المعدني انظر الشكل (8-7).

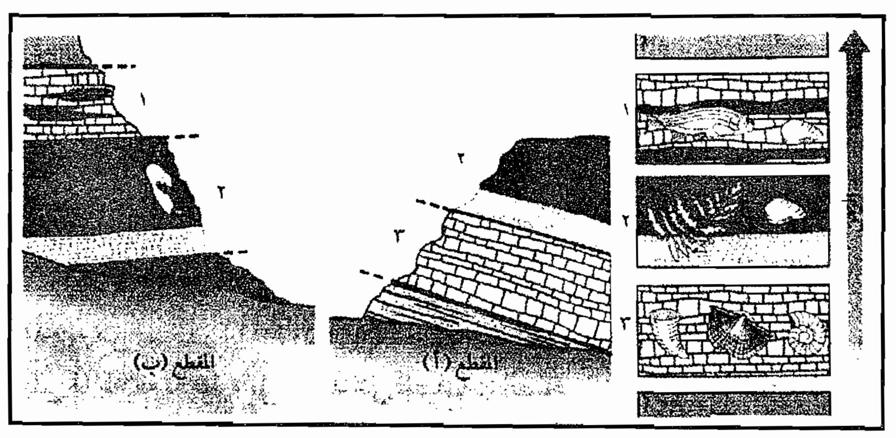


الشكل (8-7): مضاهاة وحدتين صخريتين

سؤال: تستخدم المضاهاة الصخرية للمقارنة بين منطقتين قريبتين من بعضهما إلى بعض. فسر ذلك.

2- المضاهاة الأحفورية

قد يتواجه الجيولوجي بوجود أحافير متشابهة منتشرة بين تتابعين أحفوريين أو أكثر، فيساعده هذا في المقارنة وربط التتابعات والطبقات بعضها إلى بعض رغماً من وجود اختلافات في التركيب الكيميائي بينها. انظر الشكل (8-8).



الشكل (8-8)(*): المضاهاة الأحفورية يبين مقاطع ممكن أن تكون المسافة بينها كبيرة.

(*) علوم الأرض والبيئة: لصف الثاني الثانوي.

ومما سبق ذكره ومن غيره، فقد نستنتج أن هنـاك أحافـير مـن نـوع مـا تسـمى الأحافير المرشدة لها أعمار محددة تفيدنا في اكتشاف تتابعات صخرية معينة تمكننا مـن التعرف على أعمار الصخور فيها، وأيضاً تفيدنا في مضاهـاة الصخـور ذات العمـر الواحد.

سؤال: تستخدم المضاهاة الأحفورية لمعرفة مدى التقارب بين منطقتين بعيدتين عن بعضهما على سطح القشرة الأرضية مثل الشـاطئ الغربـي لإفريقيـا والشـاطئ الشرقي لأمريكا الجنوبية. فسر ذلك.

3- المضاهاة باستخدام طبقة من البازلت

قد يلجأ الجيولوجي إلى استخدام طبقة من صخر البازلت أو طبقة مـــن رمـاد متناثر بين التراكيب الصخرية لتقدير عملية المقارنة والتماثل بين تراكيب صخريـة في منطقتين متباعدتين بعضهما إلى بعض.

- **فوائد مبدأ المضاهاة**

لمبدأ المضاهاة فوائد متعددة ومنها ما يأتي:

1- يؤدي تطبيق مبدأ المضاهاة بين التعاقبات والتتابعات الصخرية لحـوض ترسـيبي معين من معرفة حدود هذا الحـوض وامتـداده وأيضـاً تقـود إلى معرفـة التـأريخ الجيولوجي للمنطقة. ومن الناحية الاقتصاديـة فـإن المعـادن والـثروات النفطيـة والماء وطبقات الفحم كلها مواد يحتاج وجودها في منطقـة مـا إلى توافـر ظـروف بيئية معينة في الزمن الجيولوجي السحيق، فإذا تمكـن البـاحث الجيولوجـي مـن معرفتها فإنه يتنبأ بوجود هذه الثروات. وأيضاً تسـاعد المضاهـاة بـين الـتراكيب الصخرية في متابعة آبار النفط وامتدادها في محاولة لاكتشاف آبار جديدة.

2- لقد ساعد مبدأ المضاهاة بين الأحواض الترسيبية المختلفة في إرساط سلم الزمن الجيولوجي، فقد قام العالم الانجليزي وليـم سميـث، كمـا درسـت علـن ذلـك في الفصل الأول مـن هـذا الكتـاب التعـرف علـى صخـور منطقـة لنـدن ورسـم التكوينات الصخرية لها بدلالة الآثار الأحفورية فيها، ثم جاء بعده علماء طبقـوا مبدأ المضاهاة بين عدة تتابعـات صخريـة ممـا سـاعد في تقسـيمها إلى مجموعـات

صخرية شكلت (15) نظاماً في سلم الزمن الجيولوجي فيمـا بعـد. وفيما بعـد استخدم هـذا السـلم في اكتشـاف ودراسـة المنـاطق المختلفـة وتقديـر عمرهـا الجيولوجي.

3- ساعدت المضاهاة الجيولوجية العلماء في فهم الكثـير عـن الأحـواض والبيئـات الترسيبية في جميع أنحاء المعمورة مما ساعد في رسم صورة شبه متكاملة للتغـير في الظروف البيئية لها.

5-8 عمر الأرض

أفادت طرق تقدير العمر المطلق لصخـور القشـرة الأرضيـة وتقديـر التـأريخ النسبي لها في معرفة تأريخ نشأة الأرض، وأعاد علماء الأحافير هذه العمـر إلى حـوالي 4.6 بليون عام. كيف توصل العلماء إلى هذا التقدير لعمر الأرض؟

لقد استطاع الجيولوجيون إجابة السؤال المطروح بوضع عـدة إجابـات ومنـها الآتية:

1- استخدام النظائر المشعّة؛ وقد قادت هذه الطريقة من تقدير العمـر المطلـق مـن خلال دراسة سلاسل الانحلال للنظائر المشعة وفترات نصف العمـر لهـا. وتبعـاً لذلك فقد قدرت أعمار أقدم الصخور بحوالي أربعة بلايين عام.

2- دراسة بلورات بعض المعادن باستخدام جهاز مطياف الكتلة، فقد تمكن العلمـاء من تقدير أعمار أقدم بلورات معدن الزركيون والتي قـدرت بحـوالي 4.2 بليـون عام.

3- دراسة تركيب النظائر تحت قـاع المحيطـات وبوجـه التحديـد نظـائر اليورانيـوم والرصاص، أفادت هذه الدراسة إلى تقدير عمر هذه النظائر بحوالي 6 بليون عام.

4- دراسة النيازك، لقد تم دراسة أنواع متعددة من النيـازك الـتي وصلـت إلى سـطح الأرض، واستخدم لذلك الطرق الإشعاعية وقدرت أعمارهـا بحـوالي 4.55 + 1 بليون عام.

وخلاصة القول، يتفق معظم العلماء على أن عمر الأرض ونشـأتها يعـود إلى حوالي 4.6 بليون عام.

6-8 أسئلة الفصل الثامن

1- عرّف ما يلي: العمود الجيولوجي، فترة نصف الحياة، جسيمات ألفا، جسيمات بيتا، الساعة النووية، ثابت الانحلال، العمر المطلق للأرض، زمان البريكامبري، زمان الحياة المستترة، زمان الحياة الظاهرة، الحقب، الحركة الكاليدونية، مبدأ المضاهاة، مبدأ تعاقب الطبقات، المضاهاة الأحفورية، الحركة الهرسينية، النظائر.

2- متى ظهرت الكائنات الحية الآتية:

أ- الطحالب والفطريات.

ب- قنديل البحر.

جـ- الأسماك المدرعة.

د- السرخسيات.

هـ- الفورامينفرا.

و- النباتات الزهرية.

3- اكمل التفاعلات النووية التالية:

a- $^{238}_{92}U \rightarrow X + {}^{4}_{2}He$

b- $^{87}_{37}Rb \rightarrow Y + {}^{0}_{-1}B$

c- $^{212}_{92}Pb \dashrightarrow {}^{212}_{83}Bi +$

4- كيف يمكن حساب العمر المطلق لصخر ما وجد في جوفه نظائر مشعة؟

5- كيف يمكن تقدير العمر المطلق للصخور باستخدام ما يلي:

أ- الكربون المشع.

ب- البوتاسيوم المشع.

جـ- الروبيديوم المشع.

6- يشترط لاستخدام العمر النسبي للصخور الاستعانة بمبدأين. ما هما؟

7- ما هي الأزمنة التي يشتمل عليها سلم الزمن الجيولوجي؟

8- كيف يفيد كل مبدأ مما يلي في حساب العمر النسبي للأرض:

أ- مبدأ تعاقب الطبقات.

ب- مبدأ تتابع مجموعات الحيوانات والنباتات.

جـ- مبدأ الوتيرة الواحدة.

د- مبدأ المضاهاة.

9- ما هي أنواع مبدأ المضاهاة؟ وكيف نحسب العمر النسبي للصخور باستخدام كل مبدأ منها؟

10- كيف نحسب تأريخ عمر الأرض؟

11- ما هي الأسس التي اعتمد عليها العلماء في تقسيم تأريخ الأرض إلى أزمان وأحقاب وعصور وعهود؟

12- كيف نفسر ما يلي:

أ- إنقراض مظاهرة الحياة المميزة لحقب الحياة القديمة مع نهاية هذا العصر.

ب- وجود كميات كبيرة من الفحم ضمن صخور العصر الكربوني.

جـ- عدم وجود أحافير في صخور الحقب السحيق.

13- وضح بإيجاز الحركات الأرضية الآتية:

الكاليدونية، الهرسينية، الهورونية، الألبية.

14- فسر المبدأ العلمي الجيولوجي التالي:

(إن الحاضر مفتاح الماضي).

15- ما هي أهمية عصر الكامبري في السجل الجيولوجي؟

16- عد للشكل (8-3) ثم احسب المدى الصخري لكل عصر من العصور المبينة.

17- يتفق العلماء على أن تأريخ الأرض يعود إلى 4.6 بليون عام إلا أن أقدم أنواع الصخور يعود تاريخه إلى حوالي 4 بليون عام أو أكثر قليلاً. كيف تفسر ذلك؟

18- ما هو العصر الذي ظهرت فيه الحياة الآتية:

أ- السرخسيات.

ب- النباتات الزهرية.

جـ- الطحالب الزرقاء.

د- الزواحف.

هـ- الإنسان.

و- الثدييات.

19- ما أهمية نظير اليود المشع لجسم الإنسان؟

20- أذكر فرقين بين كل مصطلحين مما يلي:

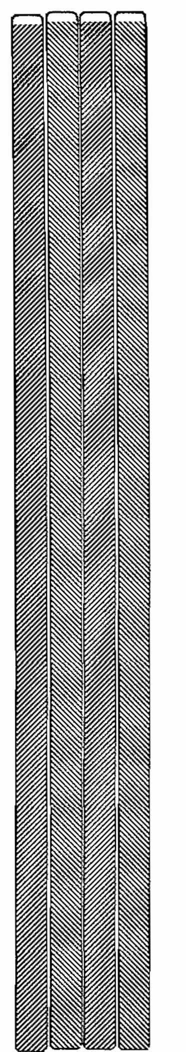
أ- الكامبري والبريكامبري.

ب- زمان الحياة المستترة وزمان الحياة الظاهرة.

جـ- الزمن النسبي والزمن المطلق للصخور.

الفصل التاسع

المياه في الطبيعة



الماء أهم المواد اللازمة للحياة كما نعرفها على الأرض، وأكثرها شيوعاً وروعة على الإطلاق، ومع ذلك لا يعرف أغلب الناس عنه إلا النزر اليسير، ونقول أن الحياة والماء في هذا الكوكب شيئان متلازمان لا ينفصلان، فالحياة بدأت في البحار الأولى السحيقة في القدم ولا زالت الغالبية العظمى من الكائنات الحية تسكن المحيطات أما الأرض الخالية من الماء فلا حياة فيها.

وقد ظل الماء يعمل طوال مئات الملايين من السنين لإعداد الأرض لمجيء الحياة، فكان يقوم على الدوام بنحت الصخور وتفتيتها لتكوين التربة وحمل المواد من الأرض لزيادة ما يحتويه من مواد ذائبة في المحيطات. والماء هو الفنان الذي ينحت سطح الأرض فهو الذي قام بتشكيل وجه الأرض كلها بنفس الطريقة التي تعمل بها يد النحات في التمثال.

ويعتبر الماء من أقدم الاحتياجات لأنه بدون الماء لا يستطيع كائن حي أن يعيش ومن حسن الحظ أن الماء يوجد بوفرة في البحيرات والأنهار والينابيع التي تنبثق فيها من الأرض وحتى عندما تكون هذه المصادر بعيدة جداً عن المنازل أو تجمعات السكان فإنه يمكن الحصول على كميات مناسبة من الماء بحفر الآبار، وفي هذه الحالة يتوقف الأمر على طبيعة الصخر الموجود تحتنا. ومن الأماكن الأكثر غنى بالماء هي البحار والمحيطات. وهناك نسبة من الماء الذي يعتبر الأكثر أهمية للإنسان في جوف الأرض ويعرف بالمياه الجوفية.

يتناول الفصل التاسع المياه بكافة أماكنها ومسمياتها وتوزعها في الطبيعة.

9

المياه في الطبيعة

9-1 البحار والمحيطات

9-1-1 نظريات نشأة البحار والمحيطات

تباينت آراء الباحثين حول تفسير كيفية توزيع اليابسة والماء، وتصور بداية ميلاد الأحواض المحيطية العظمى ومن ثمّ امتلاؤها بمياه البحر واعتمدت الدراسات الأولى لنشأة البحار على مدى براعة خيال الباحث، تلي هذه المرحلة ظهور نظريات أخرى حاولت التفسير على أساس مدى تشابه التركيب الصخري، ونظام بنية الطبقات، بينما حاول بعض الباحثين الاعتماد على أدلة خارجية بعيلة عن كوكب الأرض نفسه وايضاح العلاقة بين كل من سطح الأرض والقمر مثلاً.

وقد وضع العلماء نظريات متعددة لتفسير نشأة المحيطات، ومنها:

أ- نظرية فاجنر- زحزحة القارات:

رجّح فجنر الألماني عام 1914م أن قارات العالم اليوم كانت، خلال العصر الكربوني، أجزاء من قارة كبرى واحدة هي كتلة بانغايا، وكانت هذه الكتلة الأخيرة تتكون من قارتي أنجارا وأرتكس في الشمال، وقارة جندوانا في الجنوب، ويفصل بينهما بحر تيش، وخلال العصر الكربوني الأعلى تعرضت هذه الكتلة لحركات شد عظمى، فانفصلت قارة أرتكس عن قارة أنجارا ثم أخذت تتزحزح هذه القارات الجديدة فوق صخور السما إلى أن استقرت في مواقعها التي تحتلها اليوم.

ب- نظرية انسلاخ القمر وانفصاله عن وجه الأرض:

أول من رجّح هذه النظرية هو العالم تشارلس داروين عام 1878م، إذ اعتقد أن القمر قد انفصل عن الأرض تبعاً لتفاعل كلّ من قوة جذب الشمس للأرض من ناحية وقوة الطرد المركزية من ناحية أخرى، وبناء على ذلك فقد انسلخ القمر

من الحوض العميق الهائل الحجم الذي يشغله اليوم المحيط الهادى داخل حد الأندسيت، والتي تمثل في نفس الوقت محيط الجزء القمري الذي كان متصلاً بالأرض قبل انفصاله عنها، وتعتبر هذه من الدلائل التي تؤيد هذه النظرية، بالإضافة إلى أن جميع المحيطات الأخرى على سطح الأرض فيما عدا المحيط الهادى تتميز بأن لها قشرة صخرية مركبة من صخور الجرانيت والسيال بينما تشغل صخور السما معظم أرضية المحيط الهادى.

جـ- نظرية الصفائح التكتونية

تدعي أيضاً بتكتونية الارض، وكلمة تكتونية من أصل إغريقي وتعني البناء، فنظرية الصفائح تهتم بدراسة بناء مظاهر القشرة الأرضية، فهي لا تصف فقط حركة القارات، وإنما تقدم تفسيرات محتملة لماذا وكيف تتحرك القارات؟ وما علاقة هذه الحركة بمظاهر الأرض؟

ومضمون هذه النظرية أن غلاف الأرض الصخري الصلب مكون من صفائح محيطية وقارية ذات سمك رقيق نسبياً (100كم- 150كم) تتحرك بالنسبة لبعضها البعض، إن افتراضات هذه النظرية بسيطة لكن النتائج المترتبة عليها بعيدة المدى؛ إذ أنّ حركة الصفائح وتفاعلها تؤدي إلى نشأة المحيطات (عد إلى الفصل الثاني من هذا الكتاب)، فالصفيحة الأرضية قطعة متماسكة من طبقة الغلاف الصخري تطفو فوق الغلاف المائع وتتحرك على سطحه، ولقد تمّ التعرف إلى قرابة 20 صفيحة توجد بحجوم مختلفة، ومنها صفائح قارية ومحيطية وسمك الصفحية الأرضية يتراوح تحت المحيطات ما بين 80-100كم، أما التي تحت القارات فيزيد سمكها على 100كم وقد تبلغ 250كم في بعض المناطق.

أما عن طبيعة حركة هذه الصفائح فإنها تتحرك حركة مستقلة عن بعضها بعضاً بمعنى أنه لو أخذنا نقطتين على الصفيحة الواحدة فإن المسافة تبقى بينهما ثابتة مع الزمن بينما تتغير هذه المسافة إذا كانت هاتان النقطتان واقعتين على صفيحتين مختلفتين.

وبذلك يمكن القول أن الصفيحة الواحدة تتحرك كوحدة مستقلة، وتقع معظم آثار هذه الحركة على حدود الصفائح مثل: الزلازل والبراكين والجبال.

2-1-9 الخصائص الكيميائية لمياه المحيطات

تتميز مياه البحار والمحيطات بخصائص كيميائية، ومنها ما يلي:

1- ملوحة مياه البحار والمحيطات

تختلف الأملاح التي تتمثل بمياه البحار والمحيطات عن تلك الموجودة في المياه العذبة فوق القشرة الأرضية؛ ذلك لأن الأولى تشكلت بظروف طبيعية وبيولوجية تختلف تماماً عن المياه العذبة للأنهار، أو البحيرات، ودلت الدراسات على أن مياه الأنهار تختلف عن مياه البحار في:

أ- نسبة الملوحة.

ب- التركيب الكيميائي لكل منها.

وتعزى ملوحة مياه البحار إلى وجود كلوريد الصوديوم وبعض الأملاح الأخرى، ويمكن القول أنه يتمثل في كل 1000غرام من مياه البحر نحو 35غرم من الأملاح الذائبة ويبلغ متوسط نسبة الملوحة في البحار المتسعة المفتوحة 0.33غم/100غرام.

أمّا أهم العوامل التي تؤثر في ملوحة مياه البحار والمحيطات فهو العلاقة بين كمية المياه المكتسبة بواسطة الأمطار والثلج والمياه التي تصبها الأنهار وتلك التي تفقد من مياه البحر عن طريق التبخر.

2- اختلاف كمية الأوكسجين في مياه البحار والمحيطات

يعد وجود الأكسجين في مياه البحار ذا أهمية كبرى ليس فقط لأنه يمثل أهم العوامل التي تساعد على تنشيط الكائنات البحرية، بل كذلك لأنه عبارة عن مؤشر واضح يرمز إلى طبيعة حركة المياه في البحار وتحديد مدى خصوبتها، ومن ثم يعتبر كل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من أهم الغازات المذابة بمياه البحار، ويتضح من الدراسات التي أجريت في مياه المحيط الأطلسي أن كمية الأكسجين تزداد في المياه الواقعة بالعروض العليا وخاصة عند عمق 350م.

3- كثافة مياه البحار والمحيطات

تتشكل كثافة المياه تبعاً لاختلاف كل من درجة الحرارة، ونسبة الملوحة بالمياه،

والضغط الواقع عليها أي اختلاف عمق المياه، ولما كانت درجة حرارة المياه تختلف من مسطح مائي إلى آخر فإنّ كثافة مياه البحار تختلف بالكتل المائية أفقياً ورأسياً، أما أثر نسبة الملوحة على الكثافة فكلما انخفضت نسبة الملوحة بالمياه تقل كثافتها، وبذلك فإن منحنى الكثافة بمياه البحار هو عبارة عن العلاقة المتبادلة بين كل من درجة حرارة المياه ونسبة ملوحتها في الأعماق المختلفة.

4- اختلاف ألوان مياه البحار والمحيطات

على الرغم من أنّ الماء النقي لا لون له، إلا أن مياه البحار والمحيطات تبدو في الطبيعة بألوان مختلفة، ففي البحار العميقة المفتوحة خاصة في العروض الوسطى والسفلى كثيراً ما تظهر مياه البحر باللون الأزرق، بينما تظهر مياه البحر الساحلية باللون الأخضر.

أمّا أهم العوامل التي تجعل مياه البحار تظهر بألوان مختلفة فهي كما يلي:

أ- تغلغل أشعة الشمس الضوئية في مياه البحر.

ب- تنوع المواد العضوية العالقة وتلك المذابة بمياه البحر.

جـ- تكوين الشعاب المرجانية.

- وجود الطحالب وعندما تنتشر كائنات الكوكوليثوفورس بالمياه تعمل على انتشار الزبد الأبيض.

5- التكوينات الجليدية بمياه البحار والمحيطات

تتنوع هذه التكوينات في أشكالها تبعاً لظروف تكونها ونشأتها، ويمكن تصنيفها تبعاً لمصدرها إلى مجموعتين رئيستين هما:

أ- الجليد البحري: هو عبارة عن الغطاءات الجليدية التي تتكون فوق أسطح مياه البحر عندما تنخفض درجة حرارة المياه عن نقطة التجمد الخاصة بها.

ب- الجبال الجليدية الطافية: هي عبارة عن كتل جليدية على شكل جبال تطفو بالمياه، وتنشأ هذه الجبال فوق اليابس في البداية، وعندما ينساب الجليد من المنحدرات العليا للسفلى قد يجد طريقة في النهاية للبحر المجاور.

9-1-3 أجزاء التضاريس الطبيعية في قاع المحيط أو البحر(*)

إن أهم معالم المحيطات هي سلسلة ظهر المحيط التي تتصف معظم محيطات العالم، ونظام الأخاديد الذي يلف معظم هذه المحيطات، وصدوع التحويل.

1- الحافات القارية

هناك نوعان أساسيان من الحافات القارية وهما: حافات المحيط الأطلسي والهادي، وهناك فروق بين هاتين الحافتين، منها: أن الحافات القارية للمحيط الأطلسي لها رصيف قاري عريض وارتفاع قاري واسع المساحة، وتفتقر لوجود الأخاديد التي تميز الحافات القارية حول المحيط الهادي، وتسمى حافات المحيط الهادي بالحافات الزلزالية، وحافات القارات حول الأطلسي بالحافات اللازلزالية.

2- ظهور المحيط

تعد ظهور المحيط من أهم أو أبرز معالم المحيطات، وتحتل ثلث مساحة المحيط تقريباً، وهي من النوع البنائي الذي يشكل غلافاً محيطياً جديداً.

3- الصدوع التحويلية

يبلغ عدد الصدوع التحويلية بالمئات، وتقطع سلسلة ظهور المحيط إلى أقسام بأطوال من 50كم إلى 100كم، ويمكن أن يبلغ عمق مناطق التهشيم الناتجة من هذه الصدوع أكثر من 1500م.

4- قاع المحيط

ويكون قاع المحيط في المنطقة المحصورة بين ظهر المحيط والحافة القارية، ويشكل نحو 42٪ تقريباً من مساحة المحيطات، ويشمل قاع المحيط ما يسمى بسهول اللج والجبا ل البحرية.

5- الأخاديد البحرية

إن معظم الأخاديد تحيط بالمحيط الهادي ويبلغ طولها في المعدل نحو 1500كم ولا يزيد عرضها عن 100كم.

(*) علوم الأرض والبيئة – الصف الثاني الثانوي العلمي .

9-1-4 العمليات الجيولوجية الخارجية في البحار والمحيطات*

1- طبيعة المساحات المغمورة تحت مياه البحار والمحيطات

تغطي البحار 71٪ من سطح الكرة الأرضية، أما المساحات القارية المتبقية فتشكل 29٪، وهي ذات انتشار غير متجانس وتصل أقصى الأعماق في المحيطات (الأغوار المحيطية) إلى عمق 11كم تحت سطح البحر، أما أعلى قمم الجبال المعروفة قمة افرست، فيصل فقط إلى ارتفاع 8كم، و 400م، وذلك يعني أنه اذا غمر جبل افرست في أعماق الأغوار المحيطية المعروفة (غور المحيط الهادي) فسوف يغطي قمة هذا الجبل سمك من مياه المحيط يصل إلى كيلو متر واحد و 600متر، أما العمق المتوسط للمحيطات فهو 3كم، و 800م، وأما الارتفاع المتوسط للمساحات القارية فهو 750م.

ولكن مياه البحار تغطي أيضاً في كثير من الحالات أجزاء من القشرة القارية، وتسمى المناطق الواقعة على أطراف القارات، والمغمورة تحت مياه البحار بالرفوف القارية، ولا يزيد عمق المياه فوق الرفوف القارية على 1000متر.

أما القشرة المحيطية فلا تنتشر عموماً إلا تحت المساحات البحرية التي يزيد عمقها عن 1000م.

2- الأمواج والتيارات في البحار

تنتج الأمواج عادة من فعل الرياح فوق سطح البحار اما التيارات البحرية فتتكون نتيجة لمؤثرات مختلفة بالإضافة إلى فعل الرياح، والطاقة الناتجة من الأموال والتيارات مسؤولة عن العمل الجيولوجي للبحار وعن العمليات الجيولوجية الخارجية التي تسود فوق هذه المساحات.

أ- الأمواج وعملها الجيولوجي على الشواطئ

هناك نوعان من الأمواج: فالنوع الأول هو تلك الأمواج التي تتولد في البحار والمحيطات المفتوحة بعيداً عن الشواطئ، وتسمى بأمواج التذبذب، والنوع الثاني أمواج تتولد قريباً من الشواطئ وهي في الأصل أمواج تذبذب ولكنها عندما تقترب من الشاطئ تدخل في عمق من الماء يقل عن ارتفاعها فتنكسر الموجة وترتطم بالشاطئ بقوة شديدة، وتسمى بأمواج انتقال.

(*) أساسيات علم الجيولوجيا – محمد يوسف حسن وزملاؤه .

أما القوة التي تبذلها أمواج الارتطام القوية علي الشواطئ فتتراوح بين 3000 و 30000 ثقل كغم/م2، ويميل سطح البحر عند الشاطئ إلى الارتفاع نتيجة وصول الأموال المتتالية إلى الشاطئ، وتعمل قوة الارتطام على تهشيم الجروف المحيطة بالشواطئ، وتفتيت صخورها، والصخور التي تتكون منها الشواطئ تتفاوت في صلابتها ومقاومتها لقوة الأمواج، ومن هنا نرى أن أغلب الشواطئ الصخرية متعرجة وغير مستقيمة، تبرز منها الصخور الصلبة على هيئة رؤوس صخرية، تمتد داخل البحر بينما تتراجع الصخور الرخوة داخل الأرض مكونة خلجاناً.

وقد تقابل الأمواج في الصخور فجوات أو شقوقاً فتعمل فيها بنشاط أكبر مما تعمله في الصخور، فتتكون من ذلك الكهوف والأنفاق الشاطئية.

ب- حماية الشواطئ

تحمى الشواطئ من تأثير الأمواج الشديدة، والتيارات البحرية ولا سيما أثناء العواصف بإقامة حوائط بحرية أو أرصفة، وتبنى هذه المنشآت موازية غالباً للشاطئ، وتتكن هذه المنشآت من تراكمات صخرية صلبة، ومن مواد مختلفة مثل الجلاميد والأنهار والحصى والرمال والاسمنت وغيرها من المواد الصخرية، وتقوم حماية الشواطئ في بعض البلاد على زراعة النباتات والحشائش الكبيرة التي يمكن أن تحمي تلك الشواطئ من التدهور بفعل التيارات المائية والأمواج.

جـ- التيارات الناتجة عن المد والجزر

يحدث المد والجزر نتيجة لفعل جاذبية القمر والشمس على مياه البحار الأرضية، فأثناء دوران الأرض يحدث انتفاخات متضادان في محيطها المائي يدوران حولها نتيجة للجذب المتفاوت من الشمس والقمر، أما حركات المد والجزر فتحدث تيارات قوية في الشواطئ غير المستوية، وتساعد هذه التيارات على العمل الجيولوجي للبحار، وتعمل على توسيع المساحات المعرضة لفعل الأمواج على الشواطئ.

د- التيارات البحرية السطحية في أعالي البحار

تنتج هذه التيارات كلها من فعل الرياح على سطح ماء البحر، ومن أهم التأثيرات الجيولوجية للتيارات البحرية السطحية توزيع الحرارة والبرودة على

أسطح البحار والمحيطات، ومن ثم تأثيرها في المناخات ودرجات الحرارة للمياه في المناطق المختلفة.

3- العمل الجيولوجي البنائي للبحار (الترسيب في البيئات البحرية)

أ- الترسيب في البيئات البحرية الضحلة

تحدث التعرية والترسيب عندما يطغى البحر على اليابسة وتسمى الشواطئ التي تتطور وتكون كالآتي:

1- عندما يطغى البحر على منطقة يابسة يتكون الشاطئ من رؤوس وخلجان وجزر.

2- بعد ذلك تقوم الأمواج بقطع وصقل جروف على الشواطئ الواقعة على رؤوس.

3- باستمرار صقل الجروف تساعد عمليات الانجراف على تكوين حواجز رملية على الشاطئ.

4- تؤدي عملية تكوين الجروف على الرؤوس إلى تحويل هذه الرؤوس إلى بروزات قصيرة بها خلجان تسدها حواجز خليجية.

5- في النهاية تختفي الخلجان والرؤوس ويصبح الشاطئ شبه مستقيم.

وهذه هي دورة التحات الشاطئ، وتسمى هذه الشواطئ بشواطئ الغمر، ويكون العمل الجيولوجي للبحر في هذه الحالة عملاً هدمياً من حيث الأساس، ويؤدي إلى تحطيم التضاريس وتحويلها إلى مسطح مغطى في معظم الحالات برسوبيات غليظة. أما في حالة انحسار البحار فيتكون ما يسمى بشواطئ الرّفع، وتتميز هذه الشواطئ في مراحلها الابتدائية بسهول منبسطة مسطحة تقريباً مغطاة برواسب بحرية مفككة ناتجة عن مرحلة مبكرة من تطور الشواطئ، وقد يكون تطور الشاطئ في هذه المرحلة على حسب النموذج المتبع في تطور شواطئ الغمر.

وتتقهقر الحواجز الرملية نحو خط الشاطئ نتيجة الهجوم المستمر للأمواج، ويؤدي ذلك التطور إلى تكوين المستنقعات، ويلاحظ أن معظم عمليات الترسيب الشاطئية تكوّن رواسب فتاتية.

ب- الشعاب المرجانية (العمل البنائي للكائنات الحية البحرية)

الشعاب المرجانية هي رواسب بحرية جيرية تتراكم نتيجة لنمو مستعمرات حيوان المرجان، وبعض الكائنات الأخرى التي تعيش في مستعمرات والتي تترك

هياكلها الصلبة بعد موتها على هيئة أرصفة ممتدة وتستمر الأجيال الجديدة للكائنات الحية البانية للشعاب المرجانية في النمو فوق الهياكل المتبقية للأجيال التي سبقتها.

والجدير بالذكر أن نظرية تكتونية الألواح وانتشار قاع المحيطات والبحار عند تكون المساحات المحيطية يمكن أن تفسر نمو الكثير من الجزر الشعابية الواقعة وسط هذه المساحات المحيطية.

جـ- الترسيب في البيئات البحرية العميقة والسحيقة

تتميز الروسبيات على وجه العموم، بأنها دقيقة الحبيبات، ولكن في بعض الحالات تحتوي رسوبيات البحار العميقة والسحيقة على مواد فتاتية ذات أحجام كبيرة نسبياً.

والرسوبيات المختلفة التي توجد على الأرصفة المحيطية تنقسم إلى الأنواع الآتية:

1- طفل بني

وتنحصر هذه الرسوبيات في قيعان البحار في أعماق تزيد على 4000م، وتقع عند خطوط عرض عالية وتحتوي على أقل من 30٪ من الكربونات.

2- الرذغ الجيري

وهذه تراكمات لأصداف وبقايا لحيوانات أو نباتات بحرية هائمة، وينحصر في أعماق البحار الدافئة التي تنتشر فوق سطحها كميات من الكائنات الهائمة.

3- الرذغ السليكي

ويتكن مثل الرذغ الجيري من رسوبيات عضوية هائمة، يختلف عن بعضها البعض بأن الرذغ السليكي مكون من بقايا لحيوانات أو نباتات تفرز أصدافاً أو أجزاء صلبة من مادة السليكا (SiO_2).

4- رسوبيات جليدية

توجد بكثرة في قيعان جزء كبير من البحار القريبة من قطبي الأرض، ويظن العلماء أن جزءاً كبيراً من هذه الرسوبيات وصول إلى القيعان العميقة للبحار نتيجة لحملها بواسطة الجبال الثلجية.

5- رسوبيات ترابية

توجد في بعض السهول السحيقة القريبة من الأرفف القارية، وتتكن هذه الرسوبيات من غرين ورمال، وتختلف كثيراً في صفاتها من مكان لآخر.

♦ النحت بفعل الأمواج

إن العامل الرئيسي الذي يساعد على النحت البحري هو عامل الأموال المتكسرة التي تدفعها الرياح صوب المناطق الساحلية ولا بدّ من عدة شروط لكي تتمكن الأمواج من القيام بعملها في النحت في المناطق الساحلية وهي:

1- درجة مقاومة صخور السواحل.

2- وجود الفواصل والشقوق في الصخر.

3- ثبات خط الساحل في موضعه لفترة طويلة.

4- عمق مياه البحر بالقرب من الساحل.

5- اتجاه الأمواج، ويتناسب طردياً مع الاتجاه العمودي.

6- كمية المواد الصخرية المفتتة التي تحملها الأمواج وأحجام هذه المواد.

وتبلغ عمليات النحت البحري أقصى حد لها إذا كانت الأمواج تحمل قدراً كبيراً من المواد الصخرية المفتتة. على أننا نلاحظ كذلك أن اصطدام الأمواج بالسواح يؤدي إلى نحتها وخصوصاً اذا كانت هذه السواحل تتألف من صخور كثيرة الشقوق والمفاصل، وعندما ترتطم مياه الأمواج بصخور السواحل يؤدي هذا إلى انضغاط الهواء الذي يملأ شقوق هذه الصخور ومفاصلها انضغاطاً فجائياً كما لو كان قد رفع على شكل إسفين في هذه الشقوق، وعندما تنحدر مياه الأمواج صوب البحر وتتراجع عن الساحل يعود الهواء الذي تعرض للانضغاط في هذه المفاصل والشقوق إلى التمدد بصورة فجائية بقوة كبيرة تكاد تبلغ درجة الانفجار، كما يؤدي إلى تمزق الصخر وتفتته، بالإضافة إلى نحت مياه الأمواج لصخور السواحل بهذه الوسيلة الميكانيكية لتستطيع مياه الأمواج أيضاً أن تنحت هذه الصخور بوسائل كيماوية اذا كانت هذه الصخور من الأنواع التي تقبل الذوبان في الماء.

5-1-9 أهمية علوم البحار والمحيطات في الحياة العملية

أولا: استغلال بعض الكائنات العضوية

1- الأسماك والثدييات البحرية

إن خصوبة مياه البحار تختلف تبعاً لمدى وفرة المواد الغذائية بالمياه، والتي تتأثر بدورها وفقاً للخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحر، فتنتشر بمياه البحار أنواع مختلفة من الكائنات العضوية الية التي يستخدم الانسان معظمها في غذائه أو مواد هامة لصناعته، وقد قام الانسان منذ القدم باستغلال الأسماك من مياه البحر وإدخالها ضمن وجباته الغذائية.

2- الطحالب والاسفنج

تنتمي الطحالب إلى الثالوثيات، وهي نباتات وحيدة الخلية، وتتنوع عائلاتها من مياه إلى أخرى تبعاً للخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه التي تمثل فيها الطحالب، ومنها أشكال مختلفة: الطحالب الزرقاء، والخضراء، والحمراء، والبورفير، والطحالب البنية والذهبية.

وقد استغل سكان السواحل منذ القدم بعض مجموعات من هذه الطحالب خاصة في الأغراض الغذائية وأعظم أنواع الطحالب أهمية هي الطحالب الحمراء، حيث يستخرج منها مادة الآجار، والبنية ويستخرج منها مادة الألجين التي تستخدم في صنع بعض العقاقير الطبية، ومركبات السلفار والفيتامينات.

أما الإسفنج فهو عبارة عن حيوان بحري يعيش في المياه المدارية وشبه المدارية الدفيئة، ويعيش الإسفنج كذلك بالمياه الضحلة.

3- المحار والأصداف واللؤلؤ والقشريات

إن بعض المياه الساحلية غنية بأنواع مختلفة من المحارات والأصداف واللؤلؤ والقشريات، وتعود سكان اليابان على أكل المحارات، وتعد من الوجبات الشهية، أما اللؤلؤ فينتشر بالمياه البحرية الدفيئة، التي ترتفع فيها نسبة الملوحة وتتمثل أشهر مناطق تكاثره في مياه البحر الأحمر، والخليج العربي، وبحر اليابان وتيكون اللؤلؤ الطبيعي داخل أجسام المحار عندما يتسرب إلى داخل أحشائها بعض حبات الرمل، أما

القشريات المعروفة بعائلات كرستاسيا، ومنها الجمبري وأبو جلمبو والاستاكوزا فكلها تعيش في المياه الدفيئة ذات الملوحة العالية، وتعد القشريات غنية بالفسفور واليود، كما ستخدم قشورها في صنع غذاء الدواجن.

ثانيا: استخلاص بعض الأملاح والمواد واستغلال المعادن من البحار والمحيطات

لقد نجح الانسان في استخلاص بعض الأملاح والمعادن الفلزية واللافلزية التي قد تتمثل بمياهه، أو قد تترسب فوق قاعه، ونذكر منها أهمها.

1- ملح الطعام

يعد ملح الطعام من أهم الأملاح الاقتصادية، التي يقوم الانسان باستغلالها من مياه البحار، ويستخلص ملح الطعام من مياه البحار الساحلية الضحلة ذات الحرارة المرتفعة والملوحة المرتفعة، ولاحظ الجيولوجيون كذلك تجمعات ضخمة من ملح الطعام تنتشر بالطبقات القديمة فوق اليابس تبعاً لتراجع مياه البحر القديم عنها.

2- اليود والبروم والمغنيسيوم

عمل الانسان على استغلال بعض اللافلزات، التي تتمثل بأجسام الكائنات العضوية البحرية، ويعد اليود من أندر هذه اللافلزات، وتعتبر الحيوانات البحرية الاستفنجية والمرجانية المصدر الرئيس لليود، ويستخلص عنصر البروم من مياه البحر، ويقدر جملة انتاجه السنوي في العالم المستخرجة من البحر بنحو 99٪ ويستخدم في صناعة الجازولين، والمسكنات، والأصباغ.

ويستخلص فلز المغنيسيوم كذلك من مياه البحر، وهو مستغل بصورة اقتصادية، وهو أخف الفلزات المعروفة، وأكثرها قدرة واحتمالاً، ويستخدم في صناعة الطائرات والآلات الحربية والمفرقعات.

3- زيت البترول

يتكون تبعاً لاندثار الكائنات الحية البحرية وتراكمها فوق قاع البحر، ثم تتحلل هياكل هذه الكائنات وأجسامها تدريجياً إلى البترول، ويرجع عمر معظم الخزانات البترولية إلى الفترة الجيولوجية الواقعة فيما بين الزمن الجيولوجي الأول والثالث.

ثالثا: استغلال مياه البحار في توليد الطاقة المحركة

تتلخص طريقة توليد الطاقة تبعاً لفروق المد والجـزر في إنشـاء سـد صنـاعي عند مدخل الخليج الذي تحدث فيه هذه العملية، وعند وصول أعلـى منسـوب للمـد العالي تقفل بوابات السد بإحكام ومن ثم يمكن استخدام كمية المياه المحصورة، والتي تمثل بوابات السد، وأيضاً يمكن استخدام كمية المياه المحصورة في إدارة التوربينات أو الطواحين، وكذلك يمكن أن تستغل الأمواج العالية في توليـد طاقـة كهربائيـة لإدارة مصانع صغيرة بجوار السواحل.

رابعا: تحلية مياه البحر

أي تحويلها إلى مياه حولة بعد فصل الأملاح عنها وهذه العملية تتم كما يلي:

1- التقطير: باستخدام الطاقة الشمسية أو مواد الوقود.

2- التجميد: بتبريد مياه البحر فجأة ومن ثم تنفصل بلورات الثلج عن بلورات الملح.

3- التحليل الغشائي الكهربائي: وذلك بتمرير تيار كهربائي في أوان تحتـوي علـى مياه البحر بين أقطاب كهربائية تعمل على استخلاص الملح من مياه البحر.

خامسا: الأهمية الاستراتيجية للبحار والمحيطات

كانت معظم دول العالم تعتبر البحار حواجز تحميها من هجمات العدو، وحـدوداً سياسية طبيعية تفصل بين أراضيها، وطرق مهمة للتجارة الدولية والمواصلات.

والأمل الكبير في اكتشاف وسائل جديـدة تسـاعد علـى اسـتغلال الـثروات الطبيعية والبيولوجية للبحار والمحيطات لخدمة الانسان حتى يتوفر الرزق لبني البشـر ويرتفع مستواهم الاقتصادي والاجتماعي في أنحاء العالم أجمع.

2-9 البحيرات[1]

البحيرات عبارة عن مسـطحات مائيـة تحيطـها الأرض أو اليـابس مـن جميـع الجهات وتقع فوق أجزاء القارات. ودراسة نشـأة البحـيرات وخصائصـها الطبيعيـة

---

(1) حسن أبو العينين ، كوكب الأرض ظواهره التضاريسـية الكـبرى ، دار النهضـة العربيـة، بيروت ، ط5 ، 1979 ، ص548 - 549.

والكيميائية وتحديد الكائنات التي تعيش فيها هي موضوع علم جديد يعرف باسم علم البحيرات.

وتتميز سواحل البحيرات وأبعادها بتغيرها من فصل إلى آخر ومن عام إلى آخر، تبعاً لظروف المناخ السائد في منطقة البحيرة وتنوع مصادر مياه البحيرة، وطبيعة فقدان البحيرة لبعض مياهها، ومعظم بحيرات العالم تتغير سواحلها من فصل إلى آخر تبعاً لتعرضها لفعل التبخر، حيث تزداد مساحتها إبان فصل التساقط أو ذوبان الثلج المتجمعة فيها، وتنكمش أبعادها خلال فصل الجفاف.

وتغطي المسطحات البحيرية مساحة تقدر بنحو 1.8٪ من جملة مساحة سطح الأرض، ويلاحظ بأن البحيرات تختلف فيما بينها من حيث الشكل والمساحة، فبينما لا يزيد مساحة بعض منها عن 1كم^2، فإن بعضها الآخر قد تزيد مساحة كل منها عدة آلاف من الكيلومترات المربعة، كما تختلف البحيرات فيما بينها كذلك من حيث أعماقها، ومن ثم يطلق على البحيرات عظيمة المساحة وكبيرة العمق اسم بحار مثل بحر قزوين والبحر الميت.

1-2-9 أهمية البحيرات

أهم عمل تقوم به البحيرات التي تتصل بالأنهار هو تنظيم المياه التي تجري في تلك الأنهار، فهي بعملها هذا تحول دون حدوث الفيضانات الخطيرة التي يسببها انسياب الأنهار، وتدفق مياهها من الجهات الجبلية المرتفعة إلى السهول المنخفضة خصوصاً اذا كانت الأنهار تتأثر في فيضانها بذوبان الجليد، مثل بحيرة تكونستانس التي تنظم مياه الرين.

كما تقوم البحيرات طبيعية كانت أو صناعية على تغذية المدن المجاورة بالمياه اللازمة لها، وهي ذات فائدة اقتصادية هامة، فمياه البحيرات الجبلية يمكن استخدامها في توليد القوى المحركة.

ولا يفوتنا أن نذكر أن البحيرات من ناحية مظاهرها الجميلة محببة جداً للإنسان، فهي تؤلف مناطق للسياحة والراحة[1].

---

(1) محمد متولي ، وجه الأرض ، مكتبة الأنجلو المصرة – القاهرة، ص392 – 393.

وللبحيرات أثرها في الناحية المناخية لأنها كالبحار تماماً تساعد على تطليف الحرارة، فتنشر الدفء في أوقات البرد، وتسبب الانتعاش في أوقات الحر.

وتستخدم مياه تلك البحيرات في الزراعة إما بصورة مباشرة عن طريق ضخها نحو الأراضي المجاورة لها أو من خلال الأنهار التي تخرج من تلك البحيرات، أخيراً تزود البحيرات الانسان إضافة إلى ما ذكرناه بالغذاء المتمثل بالصيد كما يمكن استخدام بعض البحيرات في عمليات النقل الرخيص[1].

9-2-2 الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات[2]

تختلف الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات تبعاً لظروف نشأتها والمناخ المحلي لإقليم كل بيحرة، والعلاقة المتبادلة من المياه التي تكتسبها البحيرة وتلك التي تفقدها، هذا إلى جانب نوع الأملاح الذائبة في مياه البحيرة، والرواسب المتجمعة فوق أرضية البحيرة، وتختلف درجة حرارة المياه البيحرات فيما بينها، وهذا له أثره الواضح في اختلاف درجة كثافة مياهها من ناحية، وتشكيل الحياة النباتية والعضوية فيها من ناحية أخرى.

وقد أوضح ماكسيموفتش أن التركيب الكيميائي العام لمياه البحيرات يتأثر بالظروف المناخية المحلية لإقليم البحيرة، وقد وصل هذا البلحث إلى النتائج الآتية:

أ- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم التندرا من حامض الكربونيك والسليكات.

ب- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الغابات المعتدلة من حامض الكربونيك والكالسيوم.

جـ- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الإستبس من السلفات وحامض الكربونيك وكلوريد الصوديوم.

د- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الصحارى الحارة الجافة وشبه الصحارى من كلوريد الصوديوم.

---

(1) عبد الإله كربل، علم الأشكال الأرضية، البصرة 1986، ص340.

(2) حسن أبو العينين، مرجع سابق، ص576 - 579.

ولا يقتصر اختلاف مياه البحيرات على نوع الامـلاح الـتي تتمثـل فيـها بـل كذلك في نسبة الاملاح الذائبة فيها.

ومن أهم ما تقوم به البحيرات هو عملية خزن وتجميـع الفتاتـات الرسـوبية فوق قاعها بصورة متعاقبة، وتختلف هذه الفتاتات تبعاً لدرجة تضـرس المنطقـة الـتي تقع فيها البحيرة وتكوينات صخورها، ومدى اتساع البحـيرة ومتوسـطات أعماقـها، وعلى ذلك تختلف الرواسب البحيرية في قاع البحيرات العروض المدارية عن تلك المتجمعة في قاع بحيرات العروض المعتدلة أو القطبية.

وتقسم رواسـب البحـيرات تبعـاً لاختـلاف النسيج الصخـري للمفتتـات الإرسالية خشنة إلى دقيقة جداً، وإما تبعاً لاختلاف مصادرها كيميائية، عضوية، قارية.

3-2-9 أسباب تكوين البحيرات(1)

1- قد يحدث تقلص في مناطق معينـة مـن القشـرة الأرضيـة يـؤدي إلى تجعيدهـا أو إنفلاقها ينتج عنها هبوط في مستوى تلك المنطقـة ويتحـول الكثـير مـن مجـاري الأنهار والسهول إليها فتصب فيها مكونة البحيرات مثـل: بحـيرة سـوبيريور في شمال امريكا وبحيرة تانجانيقا بأواسط افريقيا.

2- تكون فوهات البراكين الخامدة والتي قد مضى وقت طويل على سكونها خزانـاً جداً لمياه الأمطار وما يصب من سيول تنحدر إليها من الجبال المحيطة بـها وهـذا النوع من البحيرات يكون عادة مستديراً وعميقاً مثل بحيرة البانو بإيطاليا.

3- قد يعترض حاجز طبيعي لمجري نهر فيتملئ الوادي إلى منسوب يسمح له بلجتياز الحاجز الذي يعترضه، وهذه الحواجز الطبيعية إما أن تكون رواسـب لرافـد مـن روافد النهر يحمل إلى الوادي كميات كبيرة من الرمال والحصـى فتترسـب عنـد نقطة اتصال النهرين وتحجز مياه النهر الأصلي وراءها، وقد تتكون أكـوام مـن ترسبات الثلاجات بعد ذوبانها.

4- إنفصال جزء من البحر إما بتكوين حاجز مـن الرواسـب الشـاطئية بينـهما أو لهبوط جزء من البحر ويقوم حاجز بـين الجـزء الهـابط وبـين البحـر مـن تأثـير

(1) عبد الهادي الصائغ، الجيولوجيا العامة، جامعة الموصل، العراق، ص255-256.

التقلصات الأرضية، وقد تحافظ هذه البحيرات على ملوحتها الأصلية أو قد تزيد ملحوتها بازدياد التبخر فيها، أو قد تقل ملوحتها وذلك لما يترسب إليها من مياه الأمطار والأنهار.

9-2-4 تقسيم البحيرات[1]

تقسم البحيرات وفقاً لأصولها الى:

1- البحيرات الناتجة عن عمل الجليد.
2- البحيرات الناتجة عن عمل المياه السطحية الجارية.
3- الأحواض التي تكونها الرياح.
4- الأحواض الناتجة عن الحركات الأرضية.
5- الأحواض الناتجة عن الإنزلاقات الأرضية.
6- الأحواض الناتجة عن النشاط البركاني.
7- الأحواض التي تكونها الأحياء.
8- الأحواض الناشئة عن الأمواج والتيارات الساحلية.
9- الأحواض الناتجة عن عملية الذوبان.

وهذا التقسيم ليس ثابتاً عند جميع العلماء، فقد اختلفت الآراء فيما يتعلق بتقسيم البحيرات، ذلك لأن البحيرة تتشكل بعدة عوامل متداخلة ولا تعزى إلى عامل واحد فقط، هذا إلى جانب تغير الخصائص المورفولوجية والطبيعية والكيميائية للبحيرة من فترة إلى أخرى تبعاً للظروف المناخية للمنطقة[2].

9-2-5 زوال البحيرة ونهايتها:

بقاء البحيرة أو عدم بقائها يحدده العلاقة بين كمية المياه المكتسبة عن طريق التساقط ومياه الأمطار وذوبان الثلج وتجمعها في المقعرات السطحية، وكمية المياه التي تفقدها هذه المقعرات عن طريق التبخر والتسرب[3].

---

(1) عبد الإله كربل ، مرجع سابق ، ص343 .
(2) حسن أبو العينين ، مرجع سابق ، ص552 .
(3) حسن أبو العينين، مرجع سابق ، ص548 .

وإذا نظرنا إلى البحيرات كظاهرة من ظواهر سطح الأرض تبين لنا أنها ظاهرة مؤقتة، لا تكاد تنشأ حتى تأخذ طريقها إلى الفناء، وهناك عمليتان تعملان دائماً على فناء البحيرات وزوالها، هما:

1- تآكل العوائق والسدود التي تحبس المياه في البحيرة وتمنعها من الخروج.

2- ترسب المواد التي تأتي بها مياه النهر فوق قاع البحيرة، وهذه العملية أكثر ظهوراً من العملية الأولى، وأعظم أثراً.

ومن الأمثلة على ذلك: تمتلئ الآن بحيرة جنيف بالتدريج بالرواسب التي يحملها نهر الرون وتنكمش مساحتها انكماشاً مستمراً[1].

كما أن بعض البحيرات تنتهي عندما تقطع مصادر المياه التي تغذيها بعمليات مختلفة، منها التغير المناخي أو حركات أرضية معينة حيث تتحول تلك البحيرات إلى بحيرات ملحة ثم تتلاشى بعد ذلك[2].

ولا ننسى البحيرات في المناطق الصحراوية والحارة التي تفقد من مائها نتيجة للتبخر أكثر مما يتسرب إليها من مياه الأمطار القليلة، ومع الزمن تجف[3].

9-3 الأنهار

إن المياه الجارية تعدّ الركن الأساسي في الجيولوجيا الفيزيائية، كما أن هذه المياه تعد العامل الرئيسي في نحت سطح الأرض، وتغيير شكله، وهذه المياه قد تكون مستمرة الجريان على مدار السنة، أو تكون موسمية أي متقطعة تتحكم بها مواسم سقوط الأمطار والمياه الجارية تحمل معها فتات الصخور والمواد الذائبة وتسير باتجاه انحدار السطح بتأثير الجاذبية الأرضية وتعتمد الأنهار على مصادرها من المياه المتساقطة بشكل أمطار وثلوج والتي تجري على سطح الأرض ثم تجميعها لتكون الأنهار.

9-3-1: طبيعة الأنهار[4]

هناك خمسة عوامل رئيسة تحدد طبيعة النهار، وهي:

---

(1) محمد متولي، مرجع سابق، ص391 .

(2) عبد الإله كربل، مرجع سابق، ص365 .

(3) عبد الهادي الصائغ، مرجع سابق، ص256 .

(4) الجيولوجيا العامة، الصائغ وزميله (1977) .

1- التفريغ

ويقصد بها كمية الماء التي تجتاز نقطة معينة في وحدة زمنية ويعبر عنها اعتيادياً بالقدم المكعب/ثانية أو م3/ث.

2- معدّل السرعة

وتقاس سرعة النهر بواسطة جهاز قراءة سرعة التيار والذي بالإمكان وضعه بماء النهر في أي منطقة وقراءة السرعة بصورة مباشرة.

3- حجم وشكل المجرى

إن حجم المجرى أو مساحة مقطع النهر هو حاصل ضرب معدّل العمق بمعدل العرض، أما شكل المجرى فيقصد به شكل مقطع النهر عرضياً من إحدى ضفتيه إلى الضفة الثانية.

4- الميل أو الإنحدار

ويقاس بمدى التغير في مستوى أو ارتفاع مجرى النهري بين أي نقطتين في مجراه أفقياً، فيعبر عنه بالأقدام (ارتفاعاً) لكل ميل (أفقياً)، أو بالإمكان تعريفه بأنه فرق الارتفاع بين نقطتين في مجرى النهر نسبة إلى المسافة الأفقية بين النقطتين، ويعبر عن هذه النسبة بقدم لكل ميل من مجرى النهر، وهذه النسبة تكون كبيرة قرب المنبع وتقل كلما ابتعدنا عن المنتبع نحو المصب.

5- الحمولة

ويطلق على المواد التي ينقلها النهر اسم حمولة النهر وتتكون من فتات الصخور إضافة إلى المواد الموجودة بصورة ذائبة.

حركة مياه الأنهار

ويعتقد الصائغ وزميله (1977م) أن حركة جزيئات الماء في أي مجرى لا تسير بشكل مستقيم كما يبدو للنظار إلى مجرى النهر، بل إن الجزيئات تسير بشكل منحني، وأحياناً بحركة دورانية وهذا النوع من الحركة يسمى انسياباً عاصفاً وهي عادة تكون أكبر في النهر السريع منها في النهار البطيء، كما أن هذا الأسلوب في الحركة أوضح في المناطق المجاورة للضفاف وقاع النهر، وحركة الماء أسرع في الوسط والأعلى.

إنّ بالإمكان ملاحظة الطريقة التي يحرك بها النهر أو ينقل حمولته فيها بإجراء تجربة في المختبر عن طريق إحداث تيار مائي في مجرى زجاجي، أو بمراقبة أي مجرى وخاصة ذلك الذي بالإمكان مشاهدة قاعه النهر تتكون في الناحية المثالية من حبيبات خشنة والتي تتحرك فوق أو قريباً من قاع النهر، وتسمى طبقة الحمولة الركامية والحبيبات الدقيقة المعلقة في النهر وتسمى الحمولة المعلقة، بالإضافة إلى هذه المواد الصلبة هناك مواد ذائبة في مياه النهر يطلق عليها الحمولة الذائبة، وهي تنتج بصورة رئيسية من التعرية الكيميائية.

9-3-2 العمل الجيولوجي للأنهار

أ- التعرية بواسطة الأنهار

للماء قابلية كبيرة على التعرية وتعتمد قابليته على سرعة الماء بالدرجة الأولى، والنهر يؤثر كعامل من عوامل التعرية بالطرق الآتية:

1- التآكل (التجوية الكيميائية)

إنّ للنهر قابلية على إذابة المواد التي يمر بها نتيجة لذوبان ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الجو، والذي يؤدي إلى تكوين حامض الكربونيك، كما أن التأثير الكيميائي للنهر يأتي من إذابة النهار نفسه لبعض المواد الكيميائية التي قد تكون متواجدة في الصخور التي يمر بها.

2- العامل الهيدروليكي

وهو تأثير الماء المتحرك من الناحية الفيزيائية بتفتيت الصخور ونقلها.

3- التفتيت ، التحات الفيزيائي

وهي عملية تعرية وتفتيت الصخور على جانبي وقاع مجرى النهر، وذلك بتأثير الصخور المنقولة بالماء.

4- الطحن

تتعرض المواد المنقولة بالماء إلى عوامل التكسر والتفتيت حيث تكون النتيجة تحولها إلى أشكال مصقولة وأحياناً كروية تقريباً.

ب- عملية النقل بواسطة الأنهار:

تنتقل المواد في الأنهار بطرق مختلفة معتمدة علـى كثافتـها وحجمـها، والنـهر ينقل هذه المواد بصور ثلاث:

1- المواد المذابة

وهذه الطريقة في النقل تشمل المواد أو الأملاح القابلة للذوبان في الماء.

2- المواد العالقة

وهي الطريقة التي تنتقل بها حبيبات الرمل الناعم والمواد الطينية حيث تبقى عالقة في الماء وتنتقل بتلك الطريقة من منطقة إلى أخرى، وهذه الطريقة مماثلة لما يحدث في حالة وضعنا كمية من الرمل الدقيق والطين في دورق زجاجي ثم تحريكه فنلاحـظ بقاء المواد عالقة فيه لحين ركود حركة الماء، وأحياناً إلى فترة تلي سكون حركة الماء.

3- التدحرج والوثبات

وهذه الطريقة في النقل تؤثـر علـى المـواد الكبـيرة الحجـم نسـبياً كـالجلاميد والحصى الكبير والرمل الخشن، حيث تنتقل المواد من محل إلى آخر بطريقة القفزات أو الدحرجة.

انحدار النهر أو جريانه

إن جريان الماء من منبعـه إلى مصبـه يخضـع لظـاهرة الانسـياب نتيجـة فـروق الارتفاع بين النقطتين وبعد المصب أو مستوى سطح البحر وهو الأساس في تقديـر درجة الانحدار، ولو ألقينا نظرة على نهر دجلة من نقطة دخوله إلى الأراضي العراقية إلى مصبه لوجدنا بأن الانحدار كبير في المراحل الأولى من مجراه ثم يقل بعد ذلك.

9-3-3 الدورة النهرية، (دورة التعرية)*

لقد قام المهتمون بدراسة الأنهار بملاحظة طبيعة الأنهار من ناحية شكل مجراه، وحركة المياه فيه من منبعه إلى مصبه، ثم قسموا مجاري الأنهار إلى ثلاث مراحل وهي مرحلة الشباب، مرحلة البلوغ مرحلة الشيخوخة وهذه المراحل الثلاثة لا علاقـة لهـا

* الجيولوجيا العامة ، الصائغ وزميله (1977) .

بالعمر الزمني للأنهار مقارنة الواحد منها بالآخر، بل إن النهر نفسه تقسم أجزاء منه إلى مراحل ثلاث:

أ- مرحلة الشباب

في هذه المرحلة من أجزاء النهر يكون ميل النهر كبيراً، وتكون تعريته سريعة والوديان فيه عميقة والانحناءات حادة في مجراه لذا فإننا نلاحظ بأن الأراضي المجاورة لمجرى النهر تبقى غير متأثرة بعملية النحت النهري، وتمتاز هذه المرحلة إضافة إلى ما تقدم بوجود بعض المظاهر في مجرى النهر وهي:

1- الحفر الوعائية

وهذه الحفر الوعائية هي عبارة عن حفر عميقة ضيقة إسطوانية الشكل توجد في قاع النهر ويتراوح قطرها ما بين عدة إنشات إلى عدة أقدام والسبب في تكون هذه الحفر هو حركة الماء السريعة في هذه المرحلة، ونظراً لكون حركة الجزيئات لولبية أي دائرية لذا تكون عوامل التعرية بواسطة فتات الصخور التي تنقلها المياه معها سيكون كبيراً مما يؤدي إلى تكون هذه الحفر وتعميقها تدريجياً.

2- المساقط

تتكون مساقط المياه عادة في المراحل الأولى من مجرى النهر أي قرب منابعه، وأسباب تكون المساقط المائية هو الاختلاف في الارتفاع بين نقطتين في مجرى النهر، وينتج هذا الاختلاف في الارتفاع إما نتيجة لفرق في الارتفاع في مجرى النهر لأحد الأسباب الطبيعية كحدوث تكسر مثلاً، أو فالق سابق في مجرى النهر أو نتيجة لتعاقب صخور قوية وهشة في مجرى النهر وتآكل الصخور الهشة بصورة أسرع من الصخور التي تكون قوية مما يؤدي إلى حدوث الفارق في الارتفاع.

3- الخوانق والأخاديد العميقة

وتعد هذه إحدى الصفات المهمة في مجرى الوادي في هذه المرحلة، ونظراً لسرعة جريان الماء فإن شكل المقطع يكون أشبه بالحرف (V) وتحتل مياه النهر قعر هذا المجرى.

ب- مرحلة البلوغ

وهي المرحلة التي يصل إليها النهر بحيث يكون قد انتهى من مرحلة حفر

مجراه بصورة سريعة ووصل إلى المرحلة التي تكون تعريته لجوانبــه، ويكـون قـد بـدأ مجراه بأخذ صورة الانحدار البطيء الهادئ، وتزداد وديان طولاً، وتصبح عملية التعريـة أبطأ بكثير من مرحلته السابقة، وتصبح الانحناءات في مجراه أكثر هدوءاً، ونهر دجلـة قرب مدينة الموصل يمثل هذه المرحلة من عمر النـهر، ويمتـاز النـهر في هـذه المرحلـة بالصفتين التاليتين:

1- المنعطفات

وهي الالتواءات أو الانحناءات الهادئة الغير حادة، يصل النهر إلى هذه المرحلـة في مجراه حينما تقل سرعته ويبدأ بقطع ضفافه.

2- الجزر

تتكون الجزر في مجرى النهر كنتيجة طبيعية لزيادة كمية المواد المنقولة في النهر نسبة إلى قابليته في النقل فترسب بعض المواد المنقولة في قاعه مكونة جزيرة في مجرى النهر بترسيب هذه المواد ينقسم مجرى النهر الأصلي إلى علة فروع (فرعين أو أكثر) تلتقي ثانية في مجرى موحد.

جـ- مرحلة الشيخوخة

انخفاض ميل المجرى بشكل كبير، يفقد النهر قابليته في التعرية ما عدا الجانبية، ويبدأ النهر الشـائخ بالانحنـاءات البطيئـة فـوق سـهوله الفيضيـة الواسـعة، وتبـدأ الانحناءات بالتضيق بمرور الوقت منتجة انحناءات دقيقة جداً، وأخيراً قد يقطع النــهر القسم الضيق من الأرض في نهاية لفة النهر مكوناً بحيرة قوسية.

9-3-4 أنماط الأنهار

إن أشكال الأنهار ووديانها وكذلك أنماطها تتأثر بنوعية الصخور التي تمر بها، والشكل يتأثر أيضاً بتاريخ الأراضي التي توجد عليها الأنهار، وهنـاك ثلاثـة أنـواع وأنماط للأنهار:

1- النمط الشجري- متشجر

يمتاز بالتفرعات النهرية الغير منتظمــة في عـدة اتجاهـات، وهـذا النمـط مـن الأنهار نجده عميقاً في مناطق الصخور الصلبة، وفي الطبقات التي تكـون مسـتوية في

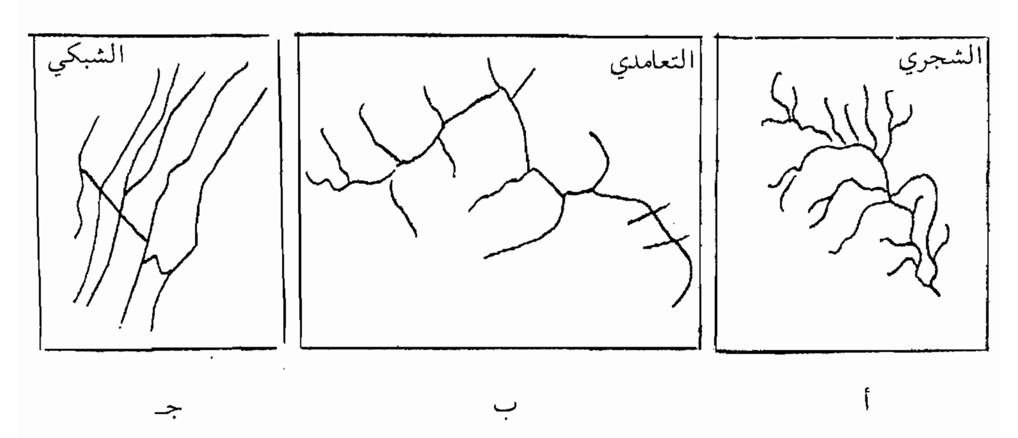
هذه الحالات، وبالتالي فإن الاختلافان في مقاومة الصخورة قليل جداً بحيث لا يؤثر على تحديد اتجاهات الأنهار الشكل (9-1-أ).

2- النمط التعامدي

نظام نهري يمتاز بانحناءات عمودية الواحدة على الأخرى في مجرى النهر وهي تنتج من وجود شقوق وتكسرات في صخور صلبة، أو لوجود صفائح في الصخور المتحولة في مجرى النهر، انظر الشكل (9-1-ب).

3- النمط الشبكي، التشابكي

عبارة عن نمط مستطيل الشكل حيث فروع النهر فيه متوازية طويلة جداً، ويحدث في المناطق التي تتعرض فيها طيات الصخور على السطح مكونة أحزمة متوازية تقريباً مؤثرة على مجرى النهر ومحددة شكله.



الشكل (9-1): بعض أنماط الأنهار

أنواع الأنهار من ناحية علاقتها بالأرض

لقد قسمت الأنهار إلى أربعة أنواع استناداً إلى علاقتها بالأرض التي تجري فوقها، وهي:

1- النهر التابع

وهو النهر الذي يتحدد نمطه بميلان الأرض فقط، لذا فإن هذه الأنهار تقع عموماً في منطقة الصخور المتماسكة، أو صخور أفقية يجري فوقها النهر، ولها عموماً

نمط شجري وذلك لعدم وجود اختلاف في طبقة الصخور التي يجري فوقها النهر وفروعه.

2- النهر اللاحق

هو ذلك النهر الذي يتحدد طريقه بطبقة الصخور بحيث أنه يشغل مناطق الصخور الضعيفة.

3- النهر القحوم

هو النهر الذي قطع مجراه خلال منطقة تعرضت للارتفاع بسبب طيه أو فالق، والتسمية جاءت من كون النهر قد اقتحم الارتفاع الجديد الذي حدث في قاع المجرى.

4- الأنهار المنطبعة

هي الأنهار التي تجري بادئ الأمر في تكوينات صخرية على السطح، ثم تشق مجراها نحو تكوينات أخرى أسفل فيها وأقدم منها، فتنطبع بكل تفاصيلها على التكوينات القديمة التي قد تختلف عن الأولى في التكوين والتركيب، والأنهار المنطبعة تبدأ حياتها كأنها تابعة محددة بالطبقات الأولى والأحداث، ولكنها بعد ذلك لا تتحدد بالطبقات التي تجري فوقها.

4-9 الينابيع*

الينابيع هي الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية على سطح الأرض بصورة طبيعية، ولكن يمكن أيضاً إظهار المياه الجوفية على السطح بوسيلة اصطناعية، وذلك بحفر آبار.

وتصنف الينابيع إلى ثلاثة أنواع حسب أماكن ظهورها وهي كالآتي:

1- الينابيع الطبوغرافية

هي التي تنشأ عندما يصل مستوى الماء الجوفي في منطقة معينة إلى سطح الأرض، وهذا يحدث في المناطق المنخفضة من الناحية الطبوغرافية مثل الأحواض

---

* أساسيات علم الجيولوجيا، محمد حسن يوسف وزملاؤه. ص295.

والوديان والواحات التي توجد في الصحاري هي في حقيقتها ينابيع، وكثير من الواحات الواقعة في الصحراء الغربية المصرية، مثلاً< ينابيع ناتجة عن وصول سطح الماء الجوفي إلى قريب من سطح الأرض في منخفضات طبوغرافية مميزة.

2- الينابيع التركيبية

هي التي تنشأ عندما يؤدي التركيب الجيولوجي لمنطقة معينة إلى اعراض صخور مصمتة لطريق المياه الجوفية المتحركة في صخور نفاذة وأمثلة هذا النوع من الينابيع ينابيع القواطع وينابيع الصدوع، أنظر الشكل (9-2).

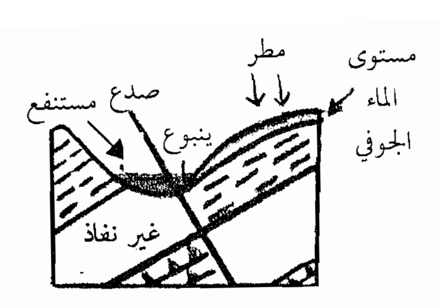
3- الينابيع الطبقية

وهي التي تنبثق اذا اعترضت المياه الجوفية طبقة مصمتة كالطين تبرز عند سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (9-2)، وفي هذه الحالة تساعد التضاريس على انكشاف الطبقة المصمتة في منطقة منخفضة لكي يظهر الينبوع.

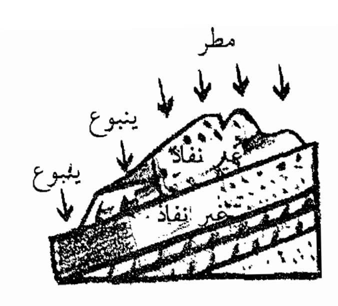
ويمكن أن يكون ينبوع معين مزيجاً من أكثر من نوع من الأنواع الثلاثة السابقة الذكر فيمكن أن يكون الينبوع ينبوعاً تركيبياً وطبوغرافياً في نفس الوقت، وأمثلة تلك الينابيع ما تنشأ عند الصدوع التي تقطع بعض الوديان في المناطق الصحراوية وغيرها.

ويمكن أيضاً تصنيف الينابيع خاصة والحياة الجوفية عامة بحسب طبيعة محتوياتها من الأملاح الذائبة.

ويطلق على بعض المياه الجوفية ذات المحتويات من الأملاح غير العادية أي التي تختلف اختلافاً ملحوظاً عن محتوى مياه الشرب والري العادية من الأملاح الذائبة، يطلق عليها اسم الحياة المعدنية والينابيع التي تتدفق منها هذه المياه تعرف أيضاً باسم الينابيع المعدنية مثل ينابيع ماعين وزارا وعفر في الأردن، وتأتي المعادن والأملاح الذائبة في المياه الجوفية من إذابة المياه لبعض المحتويات المعدنية للصخور التي تخترقها ومن أشهر أمثلة الينابيع المعدنية عيون (كارلسبار) في تشيكوسلوفاكيا وفيسبادن في ألمانيا وفيشي في فرنسا وباث في غرب انجلترا وكذلك بعض العيون في مصر مثل عيون حلوان، ولمياه بعض الينابيع قيمة كبيرة من الناحية الصحية إذ يكون للأملاح الذائبة في بعض هذه المياه فوائد طبية.

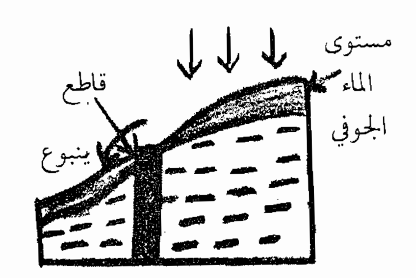


ينبوع ناتج عن وجود صدع في وادٍ



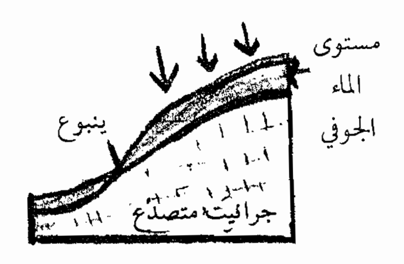
ينبوع ناتج عن اكتشاف طبقة نفاذه حاملة للمياه

(ينبوع طبقى)

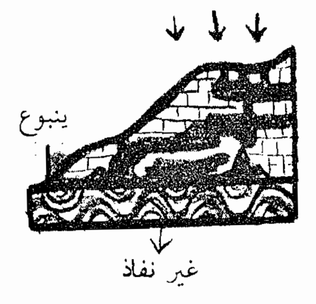


ينبوع ناتج عن اختراق قاطع لطبقات

حاملة للمياه

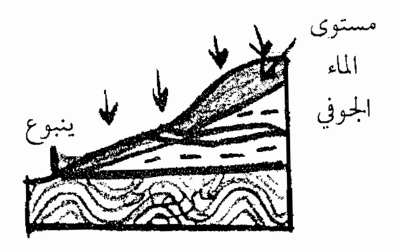


ينبوع في صخور نارية متصدعة



ينبوع في صخور جيرية بها فجوات

ومغارات



ينبوع ناتج عن قلل طبقة غير نفاذة حاملة للماء

(ينبوع طبقى)

الشكل (9-2)* : أنواع الينابيع

---

* أساسيات علم الجيولوجيا، محمد حسن يوسف وزملاؤه.

وتسمى الينابيع أو المياه المعدنية بحسب ما يغلب في مياهها من معادن ذائبة فهناك الينابيع المحلية، وهي التي يكثر في مياهها أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم، والينابيع الحديدية وتكثر في مياهها مركبات الحديد، والينابيع الكلسية وتكثر في مياهها كربونات الجير، والينابيع السيليكية التي تحتوي في مياهها مادة السليكا والينابيع الكبريتية وتحتوي مياهها مركبات الكبريت ولا سيما غاز كبيرتيد الهيدروجين.

وأحياناً تقابل المياه الجوفية في أعماق القشرة الأرضية بعض الأجسام الساخنة مثل الكتل الصهارية الدفينة وفي هذه الحالة يمكنها أن تتدفق على هيئة ينابيع ساخنة أو دافئة ومثال ذلك العين الساخنة في الصحراء الشرقية المصرية وعيون حمام فرعون في سيناء وبعض الانبثاقات المائية الدافئة في جبل حفيت بالقرب من مدينة العين بدولة الإمارات العربية المتحدة، وأحياناً تكون درجة حرارة الماء المتدفق من مثل هذه العيون عالية إذ تصل إلى درجة غليان الماء، وفي هذه الحالة يتدفق الماء من مثل هذه العيون على هيئة مراجل مرتفعة، وأشهر أمثلة هذه المراجل في العالم مراجل ايسلندا ومراجل أولد فيثفول بالولايات المتحدة الأمريكية.

5-9 المياه الجوفية (الباطنية)

إن حركة الماء أسفل وجه الأرض موضوع هام طبيعياً وبشرياً، ويتم الحصول على قسم لا يستهان به من مياه الشرب عن طريق حفر الآبار لضخ الماء الباطني الذي يتم تكريره طبيعياً أثناء تجوله خلال الصخر، ولا يقتصر النشاط التحاتي للمياه على تشكيل ظاهرات تحت سطحية متنوعة في المناطق الجيرية، ولكنه ينشئ أيضاً ظواهر سطحية كالبالونات ومنخفضات الارتكاز والكهوف. ولكن ما هي المياه الجوفية؟

هي المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمخزونة في مسام الصخور، والمياه الجوفية الموجودة في الصخور القريبة من سطح الأرض، والتي توجد في أعماق لا تزيد على بضع مئات من الأمتار من سطح الأرض وتعرف بأنها مياه مساوية وهي التي يهتم بها الجيولوجيون عند التنقيب عن خزانات الماء لاستعمالها في الزراعة والصناعة وللأغراض المنزلية.

وتوجد المياه الجوفية عادةً في صخور لها مسامية ونفاذية عاليتان، وتعرف هذه الصخور باسم الصخور الخازنة، أما التركيب العام المكون من هذه الصخور الخازنة والتي تحتوي على كمية محددة من المياه الجوفية يطلق عليها العلماء اسم (مكمن المياه الجوفية).

9-5-1 مسامية ونفاذية الصخور الخازنة للمياه الجوفية

المسامية والنفاذية من الصفات المميزة للصخور، فمسامية بعض الصخور ضئيلة، ومثال ذلك الجرانيت ومعظم الصخور النارية والمتحولة، أما مسامية بعض الصخور الأخرى فعالية ومن أمثلتها: الكونجلوميرات، والرمال اللاملتحمة أي الخالية من المواد المعدنية المتبلورة.

ويعرّف العلماء مسامية أي صخر بأنها نسبة حجم الفراغات الموجودة بين المحتويات المعدنية لكتلة صخرية معينة، إلى الحجم الكلي لهذه الكتلة الصخرية.

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الفراغات الموجودة في الكتلة الصخرية}}{\text{الحجم الكلي للكتلة الصخرية}}$$

9-5-2 أنواع مكامن المياه الجوفية

تتعدد مصادر الماء الباطني، فقسم قليل منه يعرف بالماء المتبقي تم حفظه في الصخور الرسوبية منذ فترة تكوينها، وقسم آخر يعرف بالماء الصهيري يأتي عن طريق التحرر أثناء عمليات التمايز في أفران الصهير، وغالباً ما يكون هذا الماء حاراً ومتمعدناً. وقد يتسرب بعض الماء البحري أو المحيطي خلال الصخور إلى المناطق الساحلية، والواقع أن لك هذه المصادر قليلة الأهمية اذا ما قارناها بالماء الجوي الذي مصدره من المطر مباشرة أو من انصهار الثلج والجليد.

1- مكامن المياه الجوفية الحرة: free under ground water، وتنتشر في المناطق ذات الأمطار الغزيرة أو المناطق التي ترد المياه الجوفية إليها من نهر أو أنهار مليئة بالمياه.

2- مكامن المياه الجوفية الجاثمة: وتتكون في نطاق التهوية في مستويات أعلى من مستوى الماء الجوفي عند وجود طبقات، من الرسوبيات في هذا النطاق غير نفاذه.

3- مكامن المياه الجوفية المحصورة: وتتكون في طبقات نفاذه محدودة من أسفلها ومن أعلاها بطبقات مصمتة غير نفّاذة ولا تتشرب هذه الأنواع ماءها من سطح الأرض في كل المنطقة التي تعلو المكمن كما هو الحال في المكامن الحرة، بل تتشربه فقط من المناطق التي تنكشف فيها الطبقة النفاذة المشبعة بالماء فوق سطح الأرض.

4- مكامن المياه الجوفية الحفرية (غير المتجددة): وتقع هذه المكامن عند أعماق كبيرة بضع مئات من الأمتار، وتكون هذه المياه قد تراكمت في الماضي الجيولوجي وعيب هذه المكامن أن الماء الموجود فيها يستهلك بعد فترة من الزمن مع طول الاستغلال.

9-5-3 حركة المياه الجوفية

تتحرك المياه الجوفية في باطن الأرض وتنساب عادة من المناطق، المرتفعة إلى المناطق المرتفعة إلى المناطق المنخفضة، وفي كثير من الأحيان ترمز هذه المياه الجوفية المتحركة الانهار المختلفة التي تجري في الوديان الواقعة في مناطق منخفضة. وأحياناً تظهر المياه الجوفية في المناطق المنخفضة فوق سطح الأرض وتسمى الينابيع.

9-5-4 العمل الجيولوجي للمياه الجوفية

يتركز النشاط الجيولوجي للمياه الجوفية (الأرضية) في الناحية الكيميائية، وذلك لاختلاطها المستمر بالمعادن والصخور ولأن الماء بطبيعته تغيرات كيميائية في المواد التي يختلط بها سواء كان ماءاً نقياً أو حاوياً للمواد الذائبة به.

1- النشاط الكيميائي للمياه الجوفية

يصنف النشاط الكيميائي للمياه الجوفية إلى ثلاثة أقسام: الذوبان، الإحلال، والترسيب، ولكل من هذه العمليات نتائجها الخاصة التي تؤدي إلى تكوين معالم طبوغرافية خاصة ذو رسوبيات، من أنواع معينة.

أ- الذوبان

تذيب المياه الجوفية كثيراً من المعادن والصخور ولا سيما اذا احتوى على غاز ثاني أكسيد الكربون، والدليل على ذلك وجود كثير من المواد المعدنية من مياه العيون والآبار، مما لا يوجد في مياه الأمطار، وتسمى المواد الذائبة في المياه الجوفية بحمولة المياه الجوفية، وتستمد المياه الجوفية حمولتها إما من الرواسب السطحية كالتربة وإما من الصخور التي تحت التربة، ولا سيما من الصخور الجيرية.

وتتضح أهمية فعل الإذابة بالمياه الجوفية في هدم الصخور الكربونية، وتكوين المظاهر الطبوغرافية التي تميز مناطق الكارست والتي تتكون تحت ظروف مناخية ملائمة.

ب- الإحلال

هو ترسيب إحدى المواد المعدنية التي تحملها المياه الجوفية محل المياه العضوية التي تتكون منها البقايا النباتية أو الحيوانية الدفينة في الرسوبيات، أو محل بعضها المواد المعدنية المكونة لصخر معين، ومن أكثر الأمثلة على الإحلال شيوعاً، تحويل بقايا الأشجار في العهود الجيولوجية السحيقة إلى مادة السيليكا وقد ظهر ذلك من تتحلل المياه الجوفية السيلكية هذه الصخور مدة طويلة وتعمل هذه العملية على إزالة المادة الخشبية الأصلية للأشجار ببطء وترسيب مادة السيلكيا بدلاً منها فتحول هذه البقايا إلى أخشاب متحجرة على هيئة حفريات يحتفظ بالتفاصيل العضوية الأصلية الدقيقة. إلا أنّ كل هذه التفاصيل العضوية تكوّن من مادة السيليكا، وهناك أمثلة شهيرة لمثل هذه الحفريات، موجودة بكثرة في الصخور، وهي عندما توجد بكثرة على سطح الأرض تسمى الغابات المتحجرة، وقد يتم الإحلال بمادة السيليكا محل كربونات الكالسيوم في محارات وهياكل البقايا الحيوانية، وقد يكون الإحلال بمادة أخرى غير السيليكا كمادة كربونات الكالسيوم أو أكسيد الحديد، وتسمى عملية تكون الحفريات، بهذه الطريقة بالتحجر.

جـ- الترسيب

تسمى المياه الجوفية مشبعة عندما تكون قد أذابت من الصخور التي يمكن أن تحملها من معادن ذائبة في هذه الحالة تغير بسيط في ظروفها الفيزيائية والكيميائية ترسيب بعض حمولتها.

وأكثر الأماكن التي يحدث فيها الترسيب تحت السطح في المياه الجوفية هي المسام المنتشرة بين حبيبات الصخور، حيث تكون المادة المترسبة، مادة لاحمة للحبيبات وقد تكون هذه المادة جيرية أو حديدية أو سيليكية والشقوق والفواصل والفجوات الكبيرة الموجودة في الصخور تلي في الأهمية مسام الصخور مناطق للترسيب في المياه الجوفية، وتكون المادة المترسبة في هذه الحالة ما تسمى بالعروق، وهي تتكون

غالباً من الكالسيت، وقد يكون الترسيب حول نواة علـى هيئة حبيبـة صغـيرة مـن معدن معين أو حل أحفورة عن طريق الإحلال أو الالتحام المركـز حيـث يتكـون مـا يسمى بالدرنات الصغيرة والتي تتخذ أشكالاً وتركيبات معدنية مختلفة.

وهناك، نوع آخر من الترسيب تحت السطحي في داخل المغـارات والكـهوف، فالماء الجوفي الذي يتخلل الأحجار الجيرية يكون مشبعاً بكربونات الكالسـيوم، وهـو عندما يمر فوق سقف أحد الكهوف ينّز منه ويبدأ في التساقط نحـو أرض الكـهف في قطرات، وعملية التقاطر هذه تكون بطيئة بما يكفي لتبخر جزء من الماء ويتحرر بعـض ما به من ثاني أكسيد الكربون، فيؤدي إلى ترسيب جـزء مـن كربونـات الكالسـيوم مكونة أعمدة مختلفة في الطول والقطر مدلاة من سقف الكهف تسمى هـذه الأعمـدة، الهوابط، وتقابلها أعمدة أخرى تنمو من أرض الكـهف إلى أعلـى بنفس الطريقـة، تكون أسمك في القطر أو تكون على بشكل مخروطات كبيرة وتسمى بالصواعد.

2- النشاط الميكانيكي للمياه الجوفية

العمل الميكانيكي للمياه الجوفية ليس على المستوى نفسه مـن الأهميـة مثـل عملها الكيميائي وهذا العمل يتم بشكل ثانوي في تكوين أحواض الذوبان، وهناك مظاهر أخرى للعمل الميكانيكي للمياه الجوفية وهو ما يسمى (الانهيارات الأرضية)، والتي تكون أكثر وضوحاً في حالة الرسـوبيات الطينيـة، ويـبرز دور الميـاه الجوفيـة في إحداث انهيارات أرضية عندما توجد بعض الطبقات المســامية كـالحجر الرملـي، أو كتل من الركام الصخري وترتكز على سطح منحدر، فتتشبع بالماء الباطني مما يسـهل إنزلاقها نتيجة الزيادة المستمرة في وزنها، ومما يساعد على الانهيارات هو ارتكاز هذه الصخور على طبقة من الصخور الطينية.

9-5-5 التنقيب عن المياه الجوفية

يعتقد الكثير من الناس أن المياه الجوفية يمكن الحصـول عليـها بـالحفر في أي مكـان، لكـن الميـاه الجوفيـة لا توجـد إلا في ظـروف جيولوجيـة ومناخيـة ملائمـــة، ويستخدم جيولوجيو المياه في البحث عن المياه الجوفية الطرق التالية:

الطرق الجيولوجية والطبوغرافية

وهي تساعد على الكشف عن أماكن تجمع المياه الجوفية بالمشاهدات التالية:

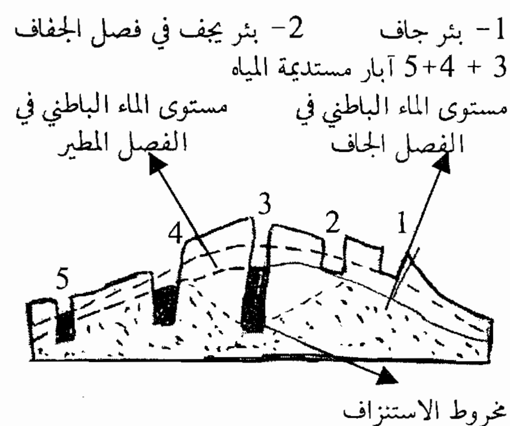
أ- ضباب الأرض: يظهر على سطح الأرض ضباب ويمكن النظر إليه من بعيد وتختلف كثافته باختلاف تبخر الماء الجوفي، عن طريق وضع لوحة عليها حروف كبيرة توضع قرب سطح الأرض فتبدو الحروف متحركة أكثر ما يمكن فوق مناطق تجمع المياه الجوفية. كما يمكن استخدام صحون توضع مائلة فوق سطح الأرض وتترك طوال الليل فيشاهد بخار الماء مكثفاً على سطحها الداخلي في الصباح، إذا كان بالأرض كمية كافية من المياه الجوفية.

ب- الأراضي الرطبة والراشحة: عندما يكون مستوى الماء الجوفي قريباً من سطح الأرض فإن قدراً من هذا الماء يطل إلى السطح عن طريق الخاصية الشعرية، لذلك فإن الاراضي الرطبة تعد دلالات على وجود مياه جوفية.

جـ- طوبوغرافية سطح الأرض: يسترشد بها لتعيين أنسب الأماكن لحفر الآبار فمستوى الماء الجوفي يكون أقرب إلى سطح الأرض تحت الوديان منه تحت المناطق المرتفعة.

9-6 الآبار

البئر ثقب يحفر في الأرض إلى ما دون مستوى الماء الباطني وحتى يكون البئر جيداً ومستديماً لا بد من حفره إلى أقصى عمق ممكن أسفل مستوى الماء الباطني، أما الآبار التي تحفر إلى ما دون المستوى مباشرة فإنها تتعرض للنضوب في فصل الجفاف. وتجدر الإشارة إلى أن استمرار ضخ المياه من البئر يسبب انخفاضاً في مستوى الماء الباطني مكوناً لما يعرف بمخروط الاستنزاف. وحين يبدأ ضخ المياه من بئر كبير تجف الآبار الضحلة المجاورة بالتدريج، انظر الشكل (9-3).



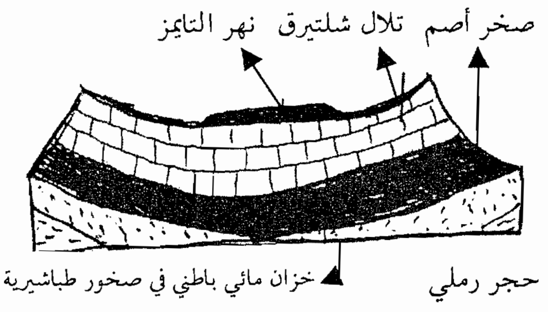
الشكل (9-3): رسم تخطيطي لبئر

9-6-2 الأحواض الارتوازية

وفيها تنتظم الطبقات الصخرية في هيئة ثنية مقعرة ضحلة هينة الانحدار ويتركب الحوض من طبقتين صخريتين غير منفذتين تحصران بينهما طبقة منفذة تبرز هوامشها ظاهرة فوق السطح. وتنفذ مياه الأمطار إلى الطبقة المنفذة من مخارجها، وتتشبع تلك الطبقة بالماء وتدعى عندئذ مخزن ماء جوفي، وتوجد أحواض جوفية ضخمة غرب استراليا وفي الصحراء الكبرى، ويوضح الشكل (9-4) جزء من الحوض الارتوازي في الصحراء الكبرى ويلتوي مخزن المياه من بعض الأماكن تجاه السطح وتكشف عنه تعرية الرياح أحياناً فتظهر الغدران وتتدفق العيون وتحفر الآبار وتنشأ الواحات.

الشكل (9-4): حوض ارتوازي

ويوضح الشكل (9-5) حوض لندن الذي يتكون من ثنية مقعرة ضحلة تتركب من الصخر الطباشيري المحصور بين طبقات صلصالية.



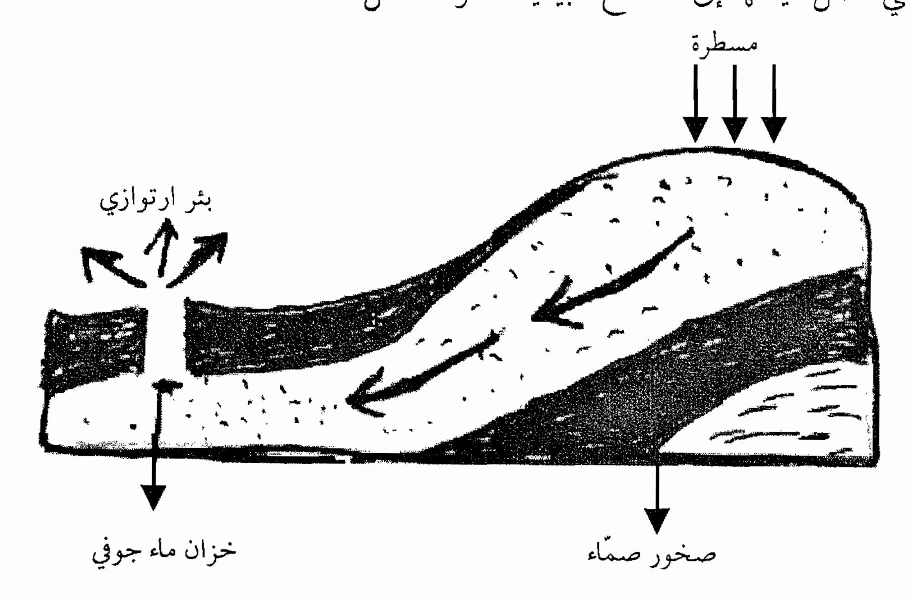
الشكل (9-5): حوض لندن

9-6-1 الآبار الارتوازية

عندما تحفر بئر في مخزن ماء (حوض ارتوازي) ويكون ضغط المياه كافياً لدفع الماء من المخزن ليصعد إلى السطح ويسمى البئر حينئذ بئراً ارتوازياً، أما اذا اقتصر الضغط على دفع المياه إلى قرب السطح فإن البئر يسمى في هذه الحالة بئراً شبه ارتوازياً.

وللآبار الارتوازية قيمة كبيرة في كثير من أجزاء العالم خصوصاً حيث توجد أحواض كبيرة شبه جافة تحيط بها سلاسل من التلال تمثل مساحات لتجميع المياه.

ويرجع الفضل في وجود كثير من واحات الصحارى العربية للآبار الارتوازية التي تصل مياهها إلى السطح طبيعياً، انظر الشكل (9-6).



الشكل (9-6) : بئر ارتوازي

7-9 أسئلة الفصل التاسع

1- عرّف ما يلي: النهر، البحر، البحيرة، الينبوع، المياه الجوفية.

2- ما هي النظريات التي تفسر نشأة البحار والمحيطات، وضح أحداث نظرية منها؟

3- ما هي حسب اعتقادك الفوائد المتوقع جنيها من البحار والمحيطات مستقبلاً؟

4- وضح العمل الجيولوجي لكل مما يلي:

1- الأمواج والتيارات البحرية في عمليات الحت التي تحدث عند شاطئ البحار.

2- حركة المياه الجوفية ضمن طبقات الصخور الداخلية من القشرة الأرضية.

3- مياه الأنهار.

4- الينابيع.

5- البحيرات.

5- فسّر ما يلي:

أ- تبدو مياه البحار زرقاء مخضرة.

ب- البحيرات هامة للإنسان.

جـ- لا يوجد تصنيف ثابت للبحيرات.

د- تتعرض البحيرات إلى الزوال.

هـ- تعمل الانهار على نحت سطح القشرة الأرضية.

و- تتسع مجاري الأنهار والجداول عبر الزمن.

ز- يعول الانسان كثيراً على المياه الجوفية.

6- اكتب ما لا يزيد عن 10 أسطر في موضوع نشأة الأنهار؟

7- ما هي العوامل التي يتوقف عليها نظام جريان المياه في أي نهر؟

8- ما هي دورة الماء في الطبيعة، عرفها بلغتك الخاصة؟

9- يعتبر الماء الجاري أو الماء السطحي بأنه ماء النهر، هل هذه عبارة صحيحة، أوضح إجابتك؟

10- كيف يعمل الماء الجوفي على تحويل الرمل إلى صخور رملية؟

11- كيف تفسر حدوث ظاهرة المد والجزر؟

12- كيف تتكون البحيرة؟

13- وضح بإيجاز حمولة ماء الأنهار؟

14- ما هي مراحل الدورة النهرية؟

15- ما هي أصناف الينابيع حسب أماكن ظهورها؟ عرف كل منها بإيجاز؟

16- ما هي الطرق التي تستخدم للتنقيب عن المياه الجوفية؟

17- ماذا يقصد بالأحواض الارتوازية، وضح ذلك مع مثال؟

18- ما أشكال التضاريس تحت مياه المحيط وعند قاعه؟

19- ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة؟

1- الينابيع هي:

أ- الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية على سطح الأرض بصورة طبيعية واصطناعية.

ب- الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية أسفل سطح الأرض بصورة طبيعية.

جـ- الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية على سطح الأرض بصورة غير طبيعية.

د- لا شيء مما ذكر.

2- تقسم الينابيع إلى ثلاثة أنواع أساسية هي:

أ- الينابيع الطبوغرافية والينابيع الصدعية والينابيع القواطع.

ب- الينابيع الطبقية والينابيع الطبوغرافية والينابيع التركيبية.

جـ- الينابيع التركيبية وينابيع القواطع والينابيع الطبقية.

د- الإجابة ب + جـ صحيحتان.

3- تقسم الينابيع إلى ثلاثة أنواع حسب:

أ- مستوى الماء الجوفي في منطقة الينبوع.

ب- طريقة ظهور الينبوع (طبيعية، اصطناعية).

جـ- العوامل التي تؤدي إلى ظهورها.

د- الأماكن التي تظهر فيها المياه الجوفية.

4- الينابيع الطبوغرافية تنشأ عندما:

أ- يصل مستوى الماء الجوفي في منطقة معينة إلى أسفل سطح الأرض.

ب- يصل مستوى الماء الجوفي منطقة معينة إلى سطح الأرض.

جـ- يصل مستوى الماء الجوفي منطقة منخفضة من الناحية الطبوغرافية أسفل السطح.

د- الإجابة ب+ جـ صحيحتان.

5- الينابيع التركيبية تنشأ عندما:

أ- يؤدي التركيب الجيولوجـي لمنطقـة معينـة إلى اعـتراض صخـور مصمتـة لطريق المياه الجوفية.

ب- تعترض صخور غير نفاذة لطريق المياه الجوفية.

جـ- تعترض صخور لدنة غير مصمتة لطريق المياه الجوفية.

د- تتوافر جميع الظروف السابقة تؤدي إلى ظهور الينابيع التركيبية.

6- الينابيع الساخنة تحدث عندما:

أ- تقابل المياه الجوفية في أعماق القشرة الأرضية بعض الأجسام الساخنة.

ب- لا توجد علاقة بين مقابلة المياه الجوفية للأجسام الساخنة.

جـ- يزداد احتكاك المياه الجوفية مع مكونات القشرة الأرضية.

د- لا شيء مما ذكر.

7- تغطي المسطحات البحرية من جملة مساحة العالم:

أ- 1.8٪ ب- 2.5٪.

جـ- 0.5٪. د- 1٪.

8- من الخصائص التي تختلف فيها البحيرات عن بعضها البعض:

أ- الشكل. ب- المساحة.

جـ- العمق. د- كل ما ذكر.

9- البحيرة التي تكونت من فوهة بركان خامد هي:

أ- بيكال. ب- سوبيريور.

جـ- البانو. د- فيكتوريا.

10- العالم الذي صنف البحيرات حسب درجة حرارتها هو:

أ- دافيز. ب- جون هادي.

جـ- ماكسيموفيتش. د- كوليه.

11- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الصحارى الحارة والجافة من:

أ- كلوريد الصوديوم. ب- السيليكات.

جـ- حامض الكربونيك. د- الكالسيوم.

12- أي من التالية لا تعتبر من أقسام رواسب البحيرات وفق مصادرها:

أ- مدارية. ب- كيميائية.

جـ- قارية. د- عضوية.

13- تقسم رواسب البحيرات إلى (خشنة، دقيقة جداً)، وفق:

أ- درجة حرارتها. ب- النسيج الصخري.

جـ- تركيبها. د- مصادرها.

14- تكونت بحيرة تانجانيقا نتيجة:

أ- تقلص في مناطق من القشرة الأرضية.

ب- انفصال جزء من البحر.

جـ- فوهة بركان خامد.

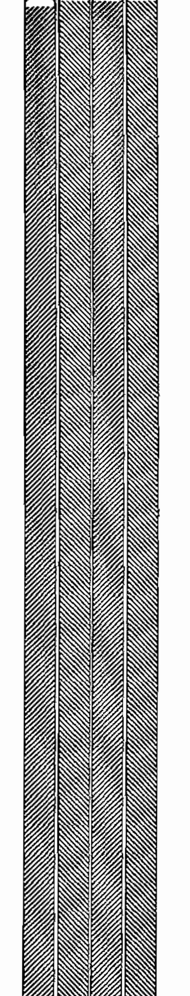
د- حاجز طبيعي لمجرى نهر.

15- البحيرة التي تنظم مياه نهر الرين هي:

أ- بيكال. ب- كونستانس.

جـ- البانو. د- لادوجا

الفصل العاشر



تكنولوجيا مصادر الطاقة

يتناول هذا الفصل بالدراسة مصادر الطاقة المتنوعة التي يستخدمها الإنسان في سبيل تحقيق الرفاه والراحة من جهة، ولتشغيل المصانع والمعدات التي تمكنه من تطوير حضارته وتحسين سبل العيش من جهة أخرى . ويستعرض هذا الفصل مصادرنا الحالية من الطاقة مثل المصادر الأحفورية والمصادر المائية والمصادر النووية. كما يتناول بعض المصادر البديلة للطاقة والتي تعرف بالطاقة المتجددة.

10

تكنولوجيا مصادر الطاقة

1-10 ما الذي سبق لنا معرفته؟

عرفت أن مصطلح الطاقة يستخدم كمرادف وملازم لمعنى الشغل، وذلك من وجهة النظر العلمية، ومن هذا المنظور نعرف الطاقة بأنها قدرة الجسم على إنجاز أو القيام بعمل، وأهم وحدة لقياسها هي الجول، وهو الطاقة الكهربائية التي تدفع تياراً شدته أمبير واحد لمدة ثانية واحدة بفرق جهد قدره فولت واحد. ودرست تعريف الجول باستخدام وحدة نيوتن. م، فإذا كان النيوتن هو القوة التي تكسب جسم كتلته 1كغم تسارعاً مقداره 1م/ث^2 يكون لدينا:

اجول = 1 نيوتن × 1 متر = 1كغم متر/ ثانية^2

وتعلم أن معدل استخدام الطاقة (انجاز الشغل) يعتمد علي الزمن، (فسر هذه الوحدة) لذلك يجب إدخال وحدة الزمن، وعلى هذا الأساس علينا أن ندخل الواط كوحدة، ويعرف بأنه جول من الطاقة يستهلك كل ثانية، وهو أهم وحدة تستخدم في مناقشة مصادر الطاقة، وفي معالجة قضايا الطاقة يلزم استعمال وحدة أكبر وهي الكيلوواط الذي يساوي (1000) واط.

وأول نوع من أنواع الطاقة توفر للإنسان هو الطاقة المستمدة من عضلات جسده، ثم طور الإنسان مصادر جديدة للطاقة؛ فقد تعلم كيف يستفيد من قوة الرياح، ومساقط الماء للحصول على الطاقة، ثم نجده وقد لجأ إلى استعمال الأخشاب والفحم، وأخيراً الغاز الطبيعي والنفط كمصادر للطاقة، ومع بدء فجر الحضارة الحديثة ابتدأ الإنسان استنزاف مصادر الطاقة حتى خسر الجزء الأكبر من الطاقة الشمسية التي تراكمت في الأرض عبر مئات الملايين من السنين.

وأما تأريخ الطاقة الميكانيكية، فلم يبدأ الإنسان باستعمالها إلا مع ظهور النهضة الصناعية في مطلع القرن التاسع عشر. وعرفت الطاقة عندها بأنها القدرة على القيام بعمل ميكانيكي مثل تحريك المكبس في الآلة البخارية، ثم توسع هذا المفهوم للطاقة فيما بعد ليشمل أشكالها المختلفة من حرارية وضوئية وكيميائية ونووية وما إلى ذلك، وكل شكل من أشكال الطاقة له القدرة على توليد الحركة وأداء العمل كما أن لديه القابلية للتحول من حالة إلى أخرى.

10-2 المصادر الحالية للطاقة

ويقصد بالمصادر الحالية للطاقة المصادر التي تزود الإنسان بالجزء الأساسي والأكبر من احتياجاته من الطاقة، وحتى الآن ما زال بعض الناس يستخدمون أخشاب الأشجار في تلبية جزء من متطلباتهم من الطاقة، كما أن البعض يستخدم الحيوانات في التنقل وحمل الحاجيات، وهناك فريق آخر من بني البشر يستخدمون مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والهوائية للحصول على احتياجاتهم من الطاقة، وهذه المصادر مجتمعة ليست كافية لتزويد الإنسان بمتطلباته المتزايدة من الطاقة.

ويمكننا تقسيم مصادر الطاقة الحالية في العالم إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي:

10-2-1 مصادر الطاقة الأحفورية(المصادر غير المتجددة للطاقة).

10-2-2 المصادر المائية للطاقة.

10-2-3 المصادر النووية للطاقة.

10-2-1 مصادر الطاقة الأحفورية(المصادر غير المتجددة للطاقة)

كيف نفسر تكون مصادر الطاقة الأحفورية؟ ومما تتكون؟ إن مصادر الطاقة الأحفورية كانت قد تكونت من تحلل كائنات حية. حيوانية ونباتية عاشت في عصور سابقة وغيرها، في بيئة معدومة الهواء، ونتج عن هذا التحلل تكون مواد تتأثر بعمليات التحلل اللاحقة، أي أن عمليات التحلل اللاحقة لم تؤثر في مخزون الطاقة في هذه المواد، وإن كانت قد أحدثت بعض التغييرات في تراكيبها العضوية.

وجميع مصادر الطاقة الأحفورية تشترك في أنها تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين أي المواد الهيدروكربونية، إضافة إلى نسب مختلفة من الماء والكبريت

والأكسجين والنيتروجين وأكاسيد الكربون. وتختلف نسبة الكربون والهيدروجين في المصادر الأحفورية من مصدر إلى آخر، فالفحم مثلاً يتكون من الكربون بشكل أساسي. وعموماً يمكن القول أنه كلما ارتفعت نسبة الكربون أو الهيدروجين في المادة ارتفعت كمية الطاقة المخزونة فيها.

وتعتبر مصادر الطاقة الأحفورية من مصادر الطاقة غير المتجددة، بمعنى أن احتياطي العالم منها يتناقص بشكل مستمر لأن معدل تكونها أقل بكثير من معدل استهلاكها، وتتكون مصادر الطاقة الأحفورية من المواد التالية:

أولا: الفحم

الفحم هو أكثر أصناف الوقود الأحفوري وفرة حيث يبلغ الاحتياطي العالمي منه حوالي (700) بليون طن، ومن أشهر أنواعه استخداماً في الصناعة هو الفحم الحجري، وقد اعتبر كمصدر للوقود في عصر الثورة الصناعية في أوروبا الغربية، وللفحم الحجري عدة أنواع تختلف في تركيبها العضوي وكمية الطاقة المتوفرة في وحدة الكتلة منها. ويعتبر الفحم وقوداً غير نظيف بالمقارنة مع النفط والغاز الطبيعي وكما أنه يحتوي الكبريت، ومن أهم أنواع الفحم ما يلي:

أ- الخث

إن الخث مادة طرية بالمقارنة مع أنواع الفحم الأخرى،ويحتوي على نسبة كبيرة من الماء تصل إلى 90٪، ويحتوي على نسبة قليلة من الكربون وبعض المواد المتطايرة، ولهذا فيعتبر الخث الحلقة الأولى في مسلسل الفحم، بمعنى أنه لم يتحول إلى فحم بصورة نهائية بل يتميز بوجود بقايا للنباتات فيه. ويستخدم الخث حالياً في تزويد بعض البيوت ببعض احتياجاتها من الطاقة الحرارية وفي محطات الطاقة الكهربائية.

ب- الفحم البني

يقع الفحم البني في الحلقة الثانية في سلسلة تكون الفحم، وذلك بعد تكون الخث، والفحم البني يحمل الكثير من خصائص الخث مثل احتوائه على نسبة عالية من الماء والمواد المتطايرة. ويستعمل الفحم البني في العديد من الأغراض الصناعية وفي محطات توليد الطاقة الكهربائية.

جـ- الفحم القطراني

وقد سمي بهذا الاسم لأنه ينتج مادة قطرانية عند تقطيره بهدف إنتاج الغاز وفحم الكوك، ويحتوي الفحم القطراني على 30-40٪ من كتلته على المواد المتطايرة المتكونة من المواد الهيدروكربونية التي تستخدم في إنتاج الغاز، كما يحتوي على نسبة قليلة من الماء. ويشكل الفحم القطراني الجزء الأكبر من احتياطي العالم من لفحم، وهو أكثر أنواع الفحم استخداماً وانتشاراً.

ثانيا: النفط

اكتشف النفط قبل حوالي مئة عام في الولايات المتحدة الأمريكية، ثم شاع بعد ذلك البحث عنه وإنتاجه واستخدامه في مناطق كثيرة من العالم، وقد توسع استخدام النفط بعد الحرب العالمية الثانية، وأصبح من أكثر مصادر الطاقة من حيث الإنتاج والاستهلاك، ويعود ذلك إلى الخصائص الفيزيائية التي يتمتع بها النفط من حيث سهولة نقله وتخزينه وارتفاع كمية الطاقة في وحدة الكتلة منه وتعدد استخداماته.

ويوجد عدة أنواع من النفط الخام، ويعزى الاختلاف بينها إلى كمية المواد الهيدروكربونية فيها، وإلى التركيب الكيميائي لهذه المواد وكتلتها الجزيئية، ويوجد إضافة إلى المواد الهيدروكربونية، بعض المواد بنسب متفاوتة مثل الكبريت والأكسجين والنيتروجين.

ثالثا: الغاز الطبيعي

يتشكل من عدة غازات ومنها الميثان ويشكل الجزء الأساسي منها ويليه الإيثان. وبالإضافة إلى الغازين سالفي الذكر هناك نسب مختلفة من البروبان والبيوتان والنيتروجين وأكاسيد الكربون والمركبات الكبريتية، ويقود اختلاف التركيب هذا إلى اختلاف في قيمة الطاقة في الأنواع المختلفة من الغاز؛ فالغاز المستخرج من ألمانيا مثلاً يحتوي على نصف قيمة طاقة الغاز المستخرج من الكويت لنفس الوحدة الحجمية.

ويأتي الغاز في المرتبة الثالثة من حيث الأهمية في الاستهلاك العالمي من الطاقة بعد الفحم والنفط، وكما لا يوجد نظرية واحدة تفسر سبب تكونه تأريخياً.

فهناك مثلاً الغاز المصاحب للنفط ويفسر تكونه بالنظريات نفسها التي تفسر تكون النفط نفسه، وهناك حقول الغاز الطبيعي حيث يوجد الغاز وحده دون النفط، وأخيراً هناك نوع آخر من الغاز الذي يعتقد أنه تكون بتأثير العوامل نفسها التي أدت إلى تكون الفحم.

قضية للبحث: اكتب مقالة تتناول فيها النظريات التي تفسر تكون الغاز.

رابعا: الزيت الصخري

الزيت الصخري نوع من الصخور يحتوي على مواد نفطية تصل إلى 20٪ من كتلته، ويمكن استخلاص المشتقات النفطية منه بطمنه ثم تسخينه بمعزل عن الاكسجين إلى درجة حرارة (400°)، وما يميز الزيت الصخري عن غيره من مصادر الطاقة الأحفورية، ارتفاع تكاليف استخراج المشتقات النفطية منه، إضافة إلى احتوائه على نسبة عالية من الكبريت الذي يؤدي إلى تلوث البيئة.

اسئلة:

سؤال1: فسر سبب تكون الفحم في أعماق الأرض، وما المشكلات التي تنجم عن استخدامه كمصدر للطاقة؟

سؤال2: شاع استخدام مصطلح مصادر الطاقة غير المتجددة كمرادف لمصطلح المصادر الطاقة الأحفورية، ماذا يقصد بالمصطلح الأول؟

10-2-2 المصادر المائية للطاقة

يشير مفهوم المصادر المائية للطاقة في وقتنا الحالي، إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تقام على مساقط الأنهار أو الشلالات الصناعية التي يمكن الحصول عليها من إقامة السدود والبحيرات الصناعية الخاصة بحجز مياه الأنهار، بحيث تضمن توفر كميات كافية من الماء تكفي لتشغيل محطات الطاقة التي تقام عليها لإنتاج الطاقة بشكل دائم.

يقوم مبدأ عمل المصادر المائية للطاقة على تحويل طاقة الوضع المختزنة (الكامنة) في الماء المحفوظة خلف السدود أو في أماكن مرتفعه، إلى طاقة ميكانيكية أثناء سقوط الماء على توربينات مائية فتديرها، وهذه بدورها تدير المولدات

الكهربائية الكبيرة المرتبطة معها منتجة بذلك الطاقة الكهربائية، وتعتمد كمية طاقة الوضع التي يمتلكها الماء على عاملين وهما: ارتفاع سقوط الماء، وكمية الماء المخزونة أو معدل تدفق الماء.

3-2-10 المصادر النووية للطاقة

يقوم مبدأ عمل المحطات النووية للطاقة المستخدمة حالياً على ما يعرف بالإنشطار النووي، حيث يصطدم نيوترون سريع بنواة ذرة عنصر ثقيل مشع وغالباً هو اليورانيوم (235)، فتنشطر وينتج عن ذلك ذرات عناصر جديدة ونيوترونات أخرى، ويرافق هذا التفاعل النووي تحول جزء من كتلة نواة الذرة المنشطرة إلى طاقة حرارية. وأما النيوترونات الناتجة فتقوم بالتالي بالاصطدام بأنوية ذرات اليورانيوم (235) المتوافرة، وينشأ عن هذا التفاعل ما يعرف بالتفاعل النووي المتسلسل . وتستخدم عادة المهدئات التي تعمل على الحد من سرعة النيوترونان الناتجة أو امتصاصها من التفاعلات النووية وبالتالي الحد أو التحكم بشدة التفاعلات المتسلسلة، ومن هذه المهدئات قضبان من الجرافيت أو الماء الثقيل. وأما الطاقة الحرارية الناتجة فتستخدم لتوليد انواع أخرى للطاقة لأغراض السلمية.

أسئلة:

سؤال1: تعتبر المصادر المائية للطاقة والمصادر النووية من مصادر الطاقة المتجددة علق على ذلك.

سؤال2: ينتج عن استخدام الوقود الأحفوري مشكلات عدة ومنها مشكلات تتعلق بتلوث البيئة، ومشكلات المطر الحمضي، ابحث في هذين النوعين من المشكلات.

سؤال3: ينتج عن المصادر النووية للطاقة مشكلات عدة ومنها ما يلي:

أ- خطر تسرب الاشعاعات النووية من هذه المصادر إلى البيئة الخارجية.

ب- العمر القصير للمفاعل النووي وخطر انفجاره إن بقي مستخدماً دون صيانة.

جـ- مشكلة التخلص من النفايات النووية.

ابحث في هذه المشكلات واقترح حلولاً ممكنة لها.

10-3 المصادر البديلة للطاقة

نعيش الآن مرحلة العد التنازلي لمصادر الطاقة الأحفورية من فحم وغاز ونفط، وهذه المصادر التي أسهمت بشكل فعال في تشكيل نمط حياتنا وتشكيل أنماطنا السلوكية الحالية، إضافة إلى محدودية هذه المصادر، فإن مشكلات التلوث المرافقة لاستخدامها تتزايد يوماً بعد يوم.

وفي ضوء ما سبق، جرت وما زالت تجري محاولات كثيرة للبحث عن مصادر بديلة للطاقة أكثر ديمومة من مصادر الطاقة الأحفورية القابلة للنفاذ. والاتجاه الحالي في الدراسات والبحوث العلمية في ميدان المصادر البديلة للطاقة يتوجه إلى مجالين رئيسيين، وهما:

1- استغلال الطاقة الشمسية التي تتجسد بالإشعاع الواصل إلى الأرض وبحركة الرياح وتكون أمواج البحر ومخزون الحرارة في البحار والمحيطات والتمثيل الضوئي.

2- تطوير طاقة نووية جديدة تعرف باسم طاقة الاندماج النووي، وهي نوع من التفاعلات النووية تشبه تلك التي تحصل داخل الشمس.

إن نجاح الإنسان في تطوير التكنولوجيا الملائمة لكل من الاتجاهين السابقين كمصدرين بديلين للطاقة، سيضمن توفر مصدر أو مصادر أبدية من الطاقة تغطي احتياجات بني البشر منها، وسنركز الاهتمام فيما يلي على دراسة المصدرين البديلين للطاقة المذكورين بأعلاه.

10-3-1 تكنولوجيا الطاقة الشمسية

زادت اهتمامات العلماء خلال مطلع القرن العشرين وحتى الآن في تكنولوجيا الطاقة الشمسية، وظهر هذا الاهتمام مؤخراً على صورة أبحاث تمحورت حول توليد الطاقة الكهربائية بشكل واسع، لأنها تتميز بمرونتها الواسعة وبإمكان تحويلها بسهولة إلى أشكال أخرى من الطاقة مثل الطاقة الحرارية والميكانيكية، وهي في الوقت نفسه طاقة نظيفة من حيث الاستعمال.

وبمعنى آخر، أن الآثار التلوثية لها تحصل عند توليدها فقط في محطة التوليد وليس حين استعمالها أو تشغيل الموتورات أو تسخين الماء في نقطا الاستعمال النهائي لهذه الطاقة. وخلال السبعينات وحتى وقتنا الحاضر انتشرت أبحاث الطاقة

الشمسية وتطبيقاتها في معظم دول العالم، ومن ضمنها الدول العربية، وتوسعت هذه الأبحاث لتشمل العديد من المجالات ولتشهد أيضاً تطويرات مستمرة تهدف إلى زيادة كفاءة استخدام الأجهزة الشمسية وتسويقها.

أولاً: الشمس

الشمس هي نجم المجموعة الشمسية التي تضم بالإضافة إلى الشمس نفسها (9) كواكب رئيسية وعدد من الأجسام الفضائية الأخرى مثل الكويكبات والنيازك والشهب.

وتقول النظرية الأكثر قبولاً لدى علماء عصرنا والتي تفسر سبب تكون الطاقة الشمسية، بأن تفاعلاً نووياً من نوع التفاعل الاندماجي يحدث في الشمس. وما يرجح وجهة النظر هذه أن الشمس تتكون من عنصري الهيدروجين والهيليوم بشكل رئيسي، ونتيجة للتفاعل الاندماجي فإنه يتم تحويل 6×10كغم من الهيدروجين إلى هيليوم في كل ثانية، وإذا أخذنا كتلة الشمس بعين الاعتبار فإنه يمكن القول أن هنالك ما يكفي من الهيدروجين لاستمرار التفاعل الاندماجي خمسة الاف مليون سنة.

وتتلقى الأرض كمية كبيرة جداً من الطاقة الشمسية مقارنة باحتياجات الإنسان من الطاقة، غير أن علينا إدراك حقيقة أن هذه الطاقة تسقط على جميع سطح الأرض الذي يتألف من بحار ويابسة، وتشكل البحار 70٪ من هذا السطح وهي مناطق غير ملائمة لاستغلال الطاقة الشمسية، سواء نتيجة لبعدها عن اليابسة أو للتكلفة الاقتصادية العالية. ومما يعيق استغلال الطاقة الشمسية أن الصحاري تشغل مساحات واسعة من سطح الارض، وهذه تتلقى كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي ولأنها غير مأهولة بالسكان ولبعدها عن مركز الاستهلاك جعل التفكير باستغلالها غير مجد في وقتنا الحاضر.

وهناك عدد من الأمور ينبغي الأخذ بها ومراعاتها لدى البدء بتطبيقات تكنولوجيا الطاقة الشمسية، ومنها ما يلي:

1- حسابات الثابت الشمسي

يعرف الثابت الشمسي بأنه كمية الطاقة في وحدة الزمن على وحدة مساحة

متعامدة مع الشعاع الشمسي وواقعة على سطح الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية.

ويكتسب الثابت الشمسي أهمية خاصة في التطبيقات الخاصة بالطاقة الشمسية، وتبنى هذه التطبيقات في الأماكن التي لها معدلات للثابت الشمسي مرتفعة، ومن المعلوم أن قيمة هذا الثابت تتغير حسب المسافة بين الأرض والشمس نتيجة لشكل المدار البيضوي للأرض حول الشمس.

2- الزوايا الشمسية

إن قيام تطبيقات للطاقة الشمسية يتطلب معرفة تفصيلية للعلاقة بين الشمس والمنطقة المستهدفة على سطح الكرة الأرضية، بحيث يراعى مبدأ رفع كفاءة استخدام هذه الطاقة، والأمر يتطلب المعرفة التفصيلية المضبوطة للعلاقة بين الشمس والمنطقة المعينة.

3- تأثير الغلاف الغازي علي الإشعاع الشمسي

إن للغلاف الغازي تأثيراً كبيراً على الإشعاع الشمسي وعلى الاحتفاظ بدرجة حرارة الجو بشكل مقبول، ويتكون الغلاف الذي يحيط بالارض من عدد من الغازات يؤثر كل منها في الأشعة الشمسية فمثلاً طبقة الأوزون O_3، وهي الطبقة العليا من الغلاف الغازي، تمتلك قدرة كبيرة على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية المدمرة للحياة. وما أن لغاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء في الغلاف الغازي القدرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء ويعيدان إشعاع جزء منه إلى سطح الأرض مرة أخرى، ونتيجة لذلك فإن سطح الأرض يحتفظ بدرجة حرارة كالتي تعرفها.

ومما سبق، يتضح لنا أن الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية يحدث بعض التغييرات على الإشعاع الشمسي أثناء عبوره الغلاف الغازي وقبل وصوله إلى سطح الأرض، فحين عبور الإشعاع الشمسي للغلاف الغازي يصطدم بمكونات هذا الغلاف من جزيئات الهواء إلى بخار الماء وذرات الغبار والرمال العالقة في الجو إضافة إلى الغيوم، ونحن نعلم أن مثل هذه المكونات في الغلاف الغازي تختلف معدلاتها ونسبها من مكان إلى آخر على سطح القشرة الأرضية.

4- الإشعاع الشمسي على الأسطح المختلفة

نهتم في هذا الموضوع علي تركيز الاهتمام بالإشعاع الساقط عمودياً على

سطح الأرض في تطبيقات الطاقة الشمسية. ويشيع استعمال الأسماء التالية لوصف الإشعاع الشمسي ومكوناته:

أ- الإشعاع المباشر العمودي: وهو الاسم الذي يطلق على الإشعاع المباشر الذي ذكر بعاليه حين يسقط على سطح متعامد مع الشمس، ومن أجل الاستفادة القصوى من هذا الإشعاع. يحسن توجيه اللاقطات الشمسية طوال النهار بحيث يكون سطحها متعامداً باستمرار مع الشمس، ويتطلب التوجيه تحرك اللاقط حول محورين يقوم أحدهما بتعقب حركة الشمس من الشرق إلى الغرب، وأما الآخر فيأخذ بالاعتبار تغير زاوية ارتفاع الشمس.

ب- الإشعاع المباشر: وهو ذلك الجزء ن الإشعاع المباشر العمودي الساقط عمودياً على سطح ليس متعامداً مع الشمس، والمعادلة التالية توضح كيفية حساب الإشعاع المباشر:

الإشعاع المباشر = الإشعاع المباشر العمودي × جيب زاوية ارتفاع الشمس

جـ- الإشعاع المنتشر: وهو ذلك الجزء من الإشعاع المبعثر في الجو الذي يسقط على سطح ما، فحين تكون السماء ملبدة بالغيوم بحيث لا تخترقها الأشعة المباشرة فإن كل الإشعاع المتوفر هو إشعاع منتشر، وأما في أيام الصحو فإن كمية الإشعاع المنتشر تكون قليلة.

د- الإشعاع الشامل أو الكلي: وهو مجموع الإشعاعين المباشر والمنتشر الساقطين على سطح مهما كان اتجاه هذا السطح.

وتتباين أنواع اللاقطات أو المجمعات الشمسية تبعاً لطريقة الاستفادة من هذه الإشعاعات الساقطة سالفة الذكر، فهناك مجمعات مسطحة تستفيد من الإشعاع الشامل وأخرى تدور حول محور واحد وتستخدم الإشعاع المباشر، وما إلى ذلك.

هـ- حساب الإشعاع الشمسي: إن المسألة الأكثر إلحاحاً وأهمية في مجال تطبيقات الطاقة الشمسية هي معرفة كم من الإشعاع الشمسي يتوفر في المنطقة موضع الاهتمام، ففي تطبيقات الطاقة الشمسية يمثل الإشعاع الشمسي مصدر الطاقة الرئيسي الذي يتم استخدامه لتأدية مهمات معينة، وهذا يتطلب إجراء حسابات علمية دقيقة لمعرفة ما يتوافر من إشعاع شمسي في موقع التطبيق.

ونكتفي هنا بالإشارة إلى أن العلماء قد يستخدمون جداول خاصة تبين مقادير الإشعاع الشمسي المتوقع سقوطها في منطقة ما خلال العام بناء على قياسات معينة، وقد يلجأ البعض إلى استخدام نماذج رياضية تعد خصيصاً لتحديد الإشعاع إما لحظياً أو ليوم خلال العام الكامل.

ثانيا: المجمعات الشمسية

إن المرحلة المهمة من مراحل الاستفادة من الطاقة الشمسية هي تحويلها من موجات كهرومغناطيسية إلى أحد أشكال الطاقة المعروفة وهي الحرارية، والكهربائية، والفوتوكيميائية، لاستخدامها في تلبية احتياجات بني البشر منها. ولهذا فإن أولى عمليات تحويل الطاقة الشمسية تتطلب استخدام وسائل تعمل على تحويلها الي أحد أشكال الطاقة سهلة الاستعمال مثل الطاقة الحرارية والكهربائية والفوتوكيميائية، ويطلق على هذه الوسائل اسم المجمعات الشمسية، ومهمتها هي التقاط الإشعاع الشمسي الساقط علي سطحها وتحويلها إلى أحد أشكال الطاقة سابقة الذكر، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من هذه التجمعات وهي:

أولاً: المجمعات الشمسية الحرارية: وتعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية.

ثانياً: المجمعات الشمسية الكهربائية أو الخلايا الفوتوفولتية، وهي الوسائل التي تعمل على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية.

ثالثاً: المجمعات الفوتوكيميائية: وتستخدم الطاقة الشمسية للقيام بتفاعلات كيميائية لإنتاج المواد الكربوهيدراتية كما يحدث في عمليات التمثيل الكلوروفيلي.

وفيما يلي سنتناول بتوضيح مفصل الأنواع الثلاثة سالفة الذكر.

أولا: المجمعات الشمسية الحرارية

وتأتي مهمة هذه المجموعات على اختلاف أشكالها في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية عند درجات حرارة مختلفة وفق طبيعة الاستعمال المطلوب، ثم تعمل هذه المجمعات على نقل الطاقة الحرارية الناتجة إلى أحد الموائع مثل الهواء والماء لاستخدامها للأغراض المرسومة لها.

ويتطلب استخدام الطاقة الشمسية الحصول عليها بأعلى كفاءة ممكنة،

ويتطلب هذا أيضاً، توفير مجمعات ذات كفاءة عالية، ومن هنا تركز الأبحاث على دراسة العوامل التي من شأنها زيادة كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها المجمع الشمسي من الإشعاع وأيضاً التقليل من كمية الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي، وهناك عوامل متعددة تلعب دوراً في زيادة كمية الحرارة المكتسبة، ومنها:

1- تقليل العوائق التي تعيق من وصول الإشعاع الشمسي إلى أجزاء المجمع التي مهمتها امتصاص الإشعاع الشمسي.

2- زيادة كفاءة الأسطح الماصة للإشعاع الشمسي.

3- رفع كفاءة وسيلة نقل الطاقة الشمسية الممتصة على السطح الماص في المجمع إلى المائع الذي يمر في المجمع الشمسي من الهواء أو الماء.

وتعتمد تكنولوجيا التقليل من الحرارة المفقودة من المجمع الشمسي على عدة أمور ومنها:

1- تقليل درجة الحرارة المفقودة عن طريق الحمل، والتوصيل، والإشعاع، وتستخدم لذلك تكنولوجيا العزل الحراري.

2- تقليل مساحة السطح الماص للإشعاع الشمسي، ويتم ذلك من خلال تجميع الإشعاع الشمسي وتركيزها على سطح ماص ذي مساحة قليلة.

وتفيد دراسة تكنولوجيا أنواع المجمعات الشمسية الحرارية بوجود ثلاثة أنواع رئيسية من هذه المجمعات، وهي:

1- المجمعات الشمسية المسطحة.

2- المجمعات الشمسية المركزة.

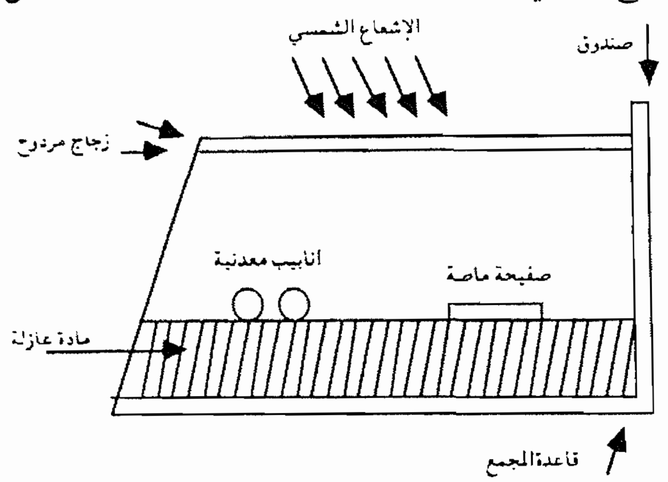
3- المجمعات الشمسية المفرغة.

وسنتناول فيما يلي شرح كل هذه الأنواع من المجمعات الشمسية:

1- المجمعات الشمسية المسطحة

تعتبر المجمعات الشمسية المسطحة أكثر أنواع المجمعات شيوعاً، ويعود سبب ذلك لسهولة تصنيعها وانخفاض سعرها بالمقارنة مع تكلفة المجمعات الشمسية الأخرى، وأيضاً بسبب تعدد استخداماتها، ويكثر استخدام هذا النوع من المجمعات

الحرارية على الدرجات الحرارية المنخفضة نسبياً أي لا تتعدى (90-100) مئوية. والجدير بالقول أن استعمالات الطاقة الحرارية على مثل هذه الدرجات المنخفضة كثيرة وشائعة الاستعمال، وتلبي حاجات الكثيرين من بني البشر مثل تسخين الماء للأغراض المختلفة في المنازل وتدفئة المنازل، وتسخين الماء في العديد من العمليات التي تحتاجها المصانع، لأن الحاجة فيها إلى ماء ساخن دون درجة الغليان، وتركيب المجمع الشمسي المسطح غاية في البساطة والسهولة التكنولوجية انظر الشكل (10-1).



الشكل (10-1) : المجمع الشمسي المسطح

ويتألف من الصفيحة الماصة التي تقوم بامتصاص الأشعة الشمسية وتحويلها إلى حرارة ونقلها إلى أحد الموائع، ولذلك تعتبر هذه الصفيحة بأنها الجزء الفعال من المجمع، أما الأجزاء الأخرى التي يتشكل منها المجمع، فهي صندوق حديدي أو خشبي لحماية أجزاء المجمع المسطح من التقلبات الجوية وأيضاً لتقليل كمية الحرارة المفقودة من المجمع، ويوجد بين الصفيحة الماصة والصندوق مادة عازلة للتخفيف من فقد الحرارة، وهناك الأنابيب المعدنية التي تحمل المائع (الماء أو السائل أو الهواء).

2- المجمعات الشمسية المركزة

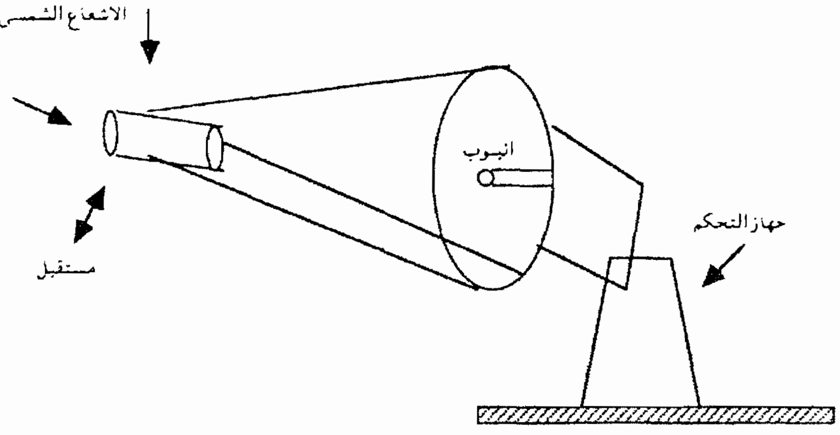
ويستخدم هذا النوع من المجمعات الشمسية في التطبيقات التي تحتاج إلى درجات حرارية عالية وأعلى من درجة غليان الماء. هذا على الرغم من أنها تستخدم أحياناً في التطبيقات ذات درجات الحرارة المنخفضة، وللحصول على درجات الحرارة

العالية المطلوبة فإن المجمع يحتاج إلى تركيز كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي وإسقاطها على مساحة صغيرة، ومن هنا أطلقت صفة المجمع المركز على هذا النوع من المجمعات. وهناك فائدة أخرى من تقليل مساحة السطح المستقبل للإشعاع الشمسي وهي تقليل فقد الحرارة، وتفيد نتائج التجارب على مثل هذا النوع من المجمعات إمكانية رفع درجة السوائل المستخدمة فيها إلى 500 درجة أو أكثر، وبذلك فإنه يمكن إنتاج بخار ماء على ضغوط مرتفعة واستخدامه للأغراض الصناعية المختلفة، كما يمكن تبخير الماء أو المواد العضوية واستخدام هذه الأبخرة لتحريك التوربينات بهدف إنتاج الطاقة الحرارية.

ويتميز المجمع الشمسي المركز بأنه لا يستفيد إلا من الإشعاع الشمسي المباشر فقط، أما الإشعاع المنتشر فهو ليس بذي فائدة لهذه المجمعات، وتبعاً لذلك فإن زيادة كفاءة هذه المجمعات يتطلب توفير وسائل إضافية تكفل مهمة حركة الأجزاء العاكسة للإشعاع الشمسي، بحيث تتبع حركة الشمس وتستقبل أكبر كمية من الإشعاع المباشر، وهذا يؤدي إلى إدخال أجزاء المجمع تزيد من تعقيداته التكنولوجية وتعمل على رفع الكلفة الاقتصادية.

ويتألف المجمع الشمسي المركز من الأجزاء التالية:

1- السطح العاكس للإشعاع الشمسي: ويعمل على استقبال الإشعاع الشمسي وعكسه على نقطة بؤرية أو على طول خط بؤري.



الشكل (10-2) : نموذج تخطيطي للمجمع الشمسي المركز

2- السطح الماص للإشعاع المنعكس: ويعمل على استقبال الإشعاع الشمسي المنعكس وامتصاص الحرارة فيه ثم نقلها إلى السائل المراد تسخينه، ومن المألوف أن يتخذ الشكل الماص شكلاً كروياً ويثبت في المركز البؤري للسطح العاكس، أو يتخذ شكل أنبوب يمر فيه السائل المراد تسخينه ويقع على طول الخط البؤري للسطح العاكس.

3- جهاز التحكم في حركة السطح العاكس، ويساعد في تتبع حركة الشمس لزيادة كمية الإشعاع المباشر على السطح العاكس، انظر الشكل (10-2).

3- المجمعات الشمسية المفرغة

صممت المجمعات الشمسية المفرغة بهدف تقليل كمية الحرارة المفقودة، في المجمعات الشمسية، وذلك من خلال إلغاء الوسط المادي الذي تنتقل خلاله الحرارة وهو الهواء. ويتم ذلك بواسطة تثبيت الأنبوب الحامل للسائل داخل إسطوانة زجاجية مقفلة ومفرغة من الهواء، ومن المعروف أن تفريغ الأسطوانة من الهواء لا يمنع انتقال الإشعاع الشمسي إلى السطح الماص، لأن هذا الإشعاع ينتقل بالفراغ، لهذا فالأسطوانة الزجاجية تسمح للإشعاع الشمسي بالوصول إلى السطح الماص لكنها تمنع انتقال الحرارة بواسطة الحمل من السطح الماص إلى الخارج.

وهذا لا يعني أن المجمعات الشمسية المفرغة لا تفقد كمية من الحرارة المكتسبة، ولكنها قد تفقد جزءاً منها بواسطة التوصيل الإشعاع، ولذلك تستخدم المواد العازلة داخل المجمع لتخفيف فقد الحرارة المكتسبة بالتوصيل، ويبقى هناك مشكلة فقدان كمية من الحرارة بواسطة الإشعاع وقد تصل إلى 15-20٪ من قيمة الواصل إلى السطح الماص.

ثالثاً: التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية

تشكل الطاقة الحرارية جزءاً كبيراً من استعمالات بني البشر للطاقة، ولذلك شاعت التطبيقات الحرارية المبنية على مبدأ استعمال الطاقة الشمسية، ومن هذه التطبيقات ما يلي:

1- تكنولوجيا تسخين الماء

تقوم جميع المجمعات الشمسية على تسخين السوائل المارة فيها، ومن ضمنها

الماء، وهو أكثر السوائل استخداماً في تطبيقات الطاقة الشمسية، وعندما يستخدم الماء ويسخن بالطاقة الشمسية فإنه يتحول الي ماء درجة حرارته كافية لسد الاحتياجات منه للأغراض المنزلية أو الصناعية.

ويتطلب تصميم أنظمة تسخين الماء بالطاقة الشمسية إعداد دراسة حول كمية الماء الساخن المطلوبة، ودرجة حرارتها وحساب مقادير الإشعاع الشمسي المتوقع سقوطها على سطح المجمعات، وبناء على ذلك يتم اختيار عدد المجمعات المطلوبة وتحديد معدلات ضخ الماء فيها.

ويعتبر تسخين الماء بالطاقة الشمسية أكثر تطبيقات الطاقة الشمسية شيوعاً وأكثرها ملاءمة من النواحي التكنولوجية والاقتصادية. وينتشر استخدام السخانات الشمسية من هذا النوع في دول عديدة من العالم ومنها البلاد العربية.

2- تكنولوجيا التدفئة

وهنا يقصد بها تدفئة المنازل والبنايات باستخدام الطاقة الشمسية، والتدفئة باستخدام الطاقة الشمسية هي عبارة عن ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات الشمسية إلى داخل هذه البنايات والمنازل، ولتحقيق هذا الغرض تبرز الحاجة إلى استعمال المعدات والأجهزة اللازمة لنقل الحرارة المخزونة من المجمع الشمسي إلى داخل البناية.

ويوجد نظامان للتدفئة بالطاقة الشمسية، ويستخدم أحدهما الهواء الذي يسخن بالمجمع الشمسي ثم يتم دفعه بواسطة مراوح خاصة إلى داخل البنايات والمنازل.

وأما الآخر فهو الماء ويتم تسخينه بالمجمع الشمسي ثم يتم دفعه في مجرى خاص يستخدم فيه مبادلات حرارية لنقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع داخل البنايات والمنازل.

3- تكنولوجيا تجفيف المحاصيل

التجفيف هو عملية تخليص المواد المختلفة من السوائل الموجودة فيه إما كلياً أو جزئياً للحصول على مواد جافة نسبياً، وهناك طريقتان لتجفيف المواد، وهما:

1- التجفيف الميكانيكي الذي يتم بواسطة الضغط أو الطرد المركزي.

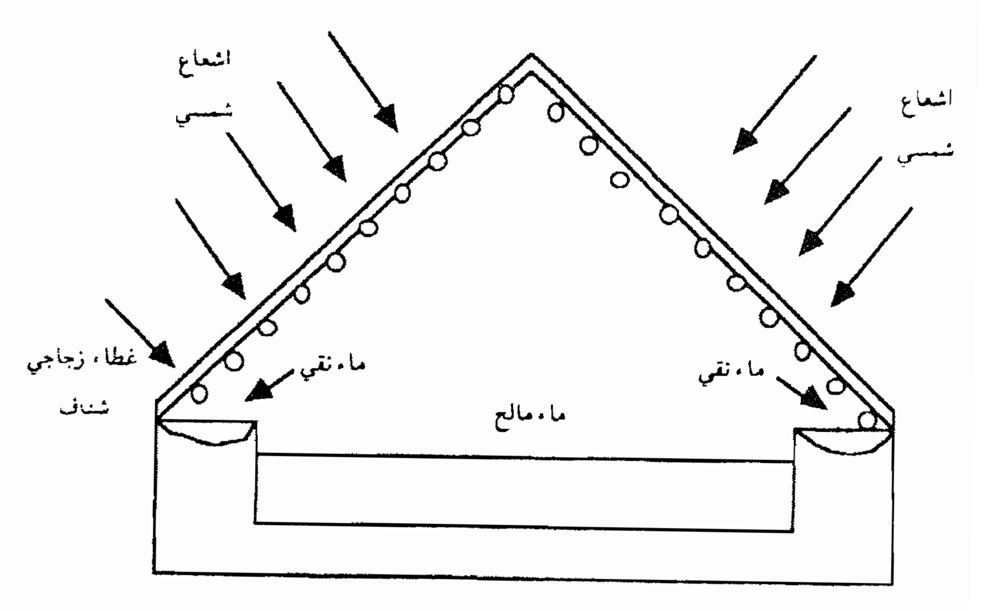
2- التجفيف الحراري الذي يتم فيه تحويل السائل في المواد المراد تجفيفها إلى بخار، ومن ثم حمل البخار بعيداً عن هذه المواد.

وأما تجفيف المواد بالطاقة الشمسية فيقصد به التجفيف الحراري الشمسي يستخدم بصورة واسعة في تجفيف المحاصيل الزراعية وبعض اللحوم، وقد تم تطوير وسائل ومعدات خاصة لتجفيف المحاصيل سميت بالمجففات الشمسية، وتتميز بفعاليتها ورخص ثمنها مما ساعد على انتشارها في كثير من المناطق الزراعية في العالم.

4- تكنولوجيا تحلية ماء البحر

يعتبر هذا النوع من التكنولوجيا بأنه أحد الحلول الهامة المطروحة لحل أزمة النقص في الماء في المناطق القاحلة التي يوجد فيها بحار، وتتمتع بإشعاع شمسي وفير ومستمر، كما هو الحال في الدول العربية.

ويقوم مبدأ تكنولوجيا تحلية الماء المالح على تبخير الماء المالح ثم تكثيف البخار وتحويله إلى ماء نقي، ويستخدم جهاز المقطر الشمسي في تبخير الماء. انظر الشكل (10-3).



الشكل (10-3) : جهاز المقطر الشمسي

ثانيا: المجمعات الشمسية الكهربائية الخلايا الفوتوفولتية

عموماً، يقوم مبدأ عملها على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة استخدام الخلايا الشمسية المصنوعة غالباً من مادة السيليكون.ويتركز جهود العلماء على هذه الطريقة للحصول على طاقة كهربائية بصورة مرنة من الطاقة الشمسية، ومن ثم استخدام الطاقة الكهربائية في جميع المجالات التي تتطلب هذه الطاقة، ويعرف تأثير الطاقة الشمسية الذي ينتج عنه توليد الطاقة الكهربائية بالتأثير الكهروضوئي، وهناك نوعان من التأثير الكهروضوئي، وهما:

التأثير الكهروضوئي الخارجي: وتعرف بالطريقة الأيونية الحرارية، ويقوم مبدأ عملها على أساس وجود مواد داخل فراغ، ويسلط عليها ضوء الإشعاع الشمسي المتكون من فوتونات، فتعارض المواد نفاذ الفوتونات إلى داخلها، وإذا حدث أن كانت طاقة الفوتونات أقوى من طاقة ارتباط الإلكترون بالذرة، فإن هذه الفوتونات تحرر الإلكترونات من ذرات السطوح الخارجية للمواد الساقطة عليها، وبذلك تتحول المواد إلى قطب وحيد يحرر سيلاً من الإلكترونات فيتولد تيار كهربائي، لكنه لا يولد جهداً كهربائياً.

2- التأثير الكهروضوئي الداخلي: وتلاحظ هذه الظاهرة في الخلايا الشمسية، ويقوم مبدأ عملها على أساس أن الفوتونات الساقطة على المواد تتغلغل إلى أعماق هذه المواد، وتساعد على تحرير الإلكترونات من الذرات الداخلية للمواد، وأيضاً يتحرر بعض الإلكترونات من سطحها، وبالتالي تتحرك الإلكترونات المحررة داخل المواد مما يؤدي إلى توليد فجوات مكانها.

والإلكترونات تحمل الشحنة السالبة وأما الفجوات فتحمل الشحنة موجبة، ويحدث أن تلتحم الإلكترونات المتحررة مع الفجوات الموجبة، بمعنى أنها تنتقل داخل الشبكة البلورية للمادة نفسها، وهنا يظهر في هذه المادة قطبان أحدهما سالب الشحنة وهو الإلكترونات، والآخر موجب الشحنة وهو الفجوات نفسها، وتتكرر عملية تعبئة الفجوات الموجبة الشحنة بالإلكترونات سالبة الشحنة، أي يتولد تيار كهربائي.

ومن أكثر مزايا توليد الكهرباء في الخلايا الشمسية، ما يلي:

أ- تقوم الخلايا الشمسية بإنتاج الكهرباء دونما حاجة إلى وجود أجهزة وسيطية ودونما حاجة للدخول في عمليات تحويل الطاقة من نوع إلى آخر، أي ينتج منها تيار كهربائي مباشر.

ب- تتميز الخلايا الشمسية بكفاءة عالية في توليد الطاقة الكهربائية قد تصل في حدها الأعلى إلى 25٪ وهي بذلك تعادل كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية تقريباً.

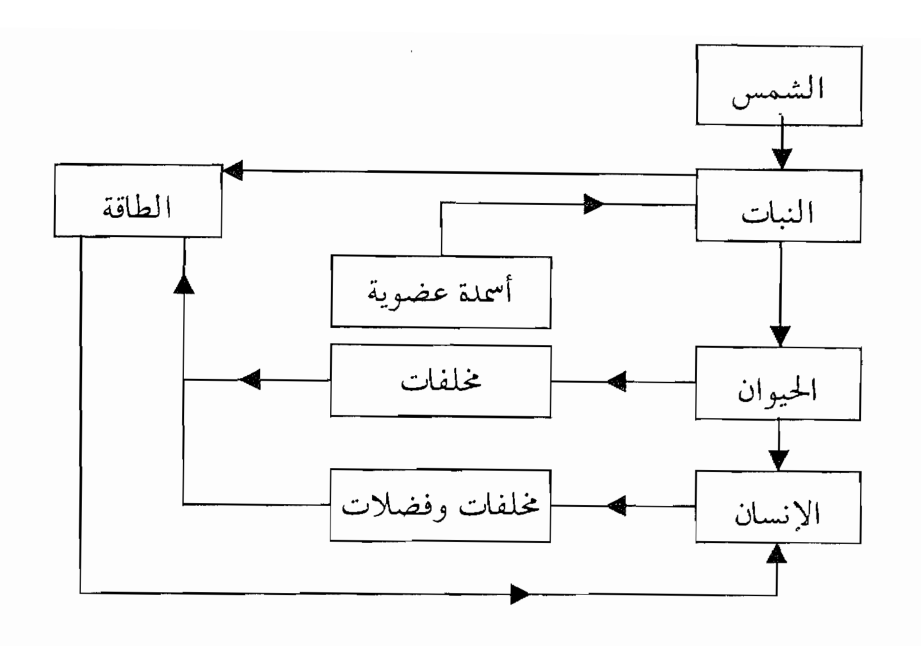
جـ- إن إنتاج الطاقة الكهربائية في الخلايا الشمسية يتناسب طردياً مع الإشعاع الشمسي الساقط عليها.

د- أن استجابة الخلايا الشمسية للإشعاع فورية، أي أن الطاقة الكهربائية تنتج مباشرة في حال سقوط الإشعاع الشمسي على الخلية.

ثالثا: المجمعات الفوتوكيميائية

تقوم أوراق النباتات الخضراء بعملية التمثيل الكلوروفيلي (الضوئي)، حيث تعمل على امتصاص أشعة الشمس وغاز ثاني أكسيد الكربون من الجو، وتستخدم طاقة ضوء الشمس الممتصة في تحليل الماء الموجود في أوراق النباتات الخضراء إلى مكوناته الأساسية، أي عنصري الهيدروجين والأكسجين، وبعد ذلك يتم تفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون لإنتاج سكر الجلوكوز، وينطلق غاز الاكسجين إلى خارج أوراق النبات.

وتستفيد النباتات من جزء قليل من طاقة الإشعاع الشمسي في عملية التمثيل الكلورفيلي، وهذا الجزء لا يتعدى نسبة 1٪ من هذه الطاقة، وينتج عن هذه العملية طعاماً يكفي لجميع الأحياء على سطح الأرض، ويلبي حاجة هذه الأحياء من الطاقة أيضاً، باعتبار أن ما تم في عملية التمثيل الكلورفيلي هو تخزين للطاقة الشمسية على شكل روابط كيميائية في سكر الجلوكوز، المركب العضوي الناتج عن هذه العملية ويوضح الشكل (10-4) مخططاً هيكلياً عن إنتاج الطاقة بواسطة عملية التمثيل الكلوروفيلي.



الشكل (10-4) : مخطط هيكلي لإنتاج الطاقة بواسطة عملية التمثيل الكلوروفيلي (فوتوكيميائي)

10-3-2 تكنولوجيا طاقة الرياح

يقوم مبدأ عمل تكنولوجيا طاقة الرياح على استغلال الطاقة الهوائية في إدارة طاحونة هوائية، وهذه بدورها تتصل مع مولد كهربائي لديه القابلية للحركة وتوليد طاقة كهربائية. ومن هذا المنظور، فإن مصدر الطاقة الكهربائية هو من نتيجة تحول الطاقة الحركية التي تمتلكها الرياح أو الهواء، وهذه الطاقة الهوائية ما هي في الواقع إلا إحدى نتائج الطاقة الشمسية. ومن المعروف، أن حركة الهواء تتأثر بتأثيرات الطاقة الشمسية على الغلاف الهوائي المحيط بالأرض، فعندما تسقط أشعة الشمس على منطقة ما من سطح الأرض فإنها تؤدي إلى تسخين السطح الملامس لهذه المنطقة، ولهذا فإن الهواء يزداد حجمه وتقل كثافته وبالتالي ينقص الضغط الجوي عند هذه المنطقة المعرضة للشمس. وأما في المناطق المجاورة لهذه المنطقة حيث لا تتوافر أشعة الشمس، فإن الضغط الجوي يزداد نتيجة لثقل الهواء فيها، وبذلك يحدث فرق في الضغط بين المنطقتين، منطقة الانخفاض في الضغط الجوي ومنطقة الضغط الجوي

المرتفع، فيتعادل الضغط بانتقال الهواء من المنطقة ذات الضغط الجوي المرتفع إلى المنطقة ذات الضغط الجوي المنخفض، وأن الفرق في الضغط الجوي بين منطقة وأخرى هو نظام تخزين للطاقة. وفي حالتنا فإن نظام التخزين هو نظام تخزين للطاقة الشمسية، وما يقوم به الإنسان عادة للاستفادة من مخزون الطاقة هذا، هو أن يقوم بتركيب بعض طواحين الهواء ويحولها إلى طاقة كهربائية، ولهذا النوع من الطاقة الهوائية عدة مزايا، ومنها ما يلي:

1- تعتبر الطاقة الهوائية من مصادر الطاقة الطبيعية، ولذا فيصعب التحكم في مقدارها، وكما يصعب التحكم بمقدار المخزون منها، وإن كان بإمكاننا أن نحصل على بعض هذا المخزون.

2- يصعب حساب كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الهواء وقد يتمكن الباحث من حساب الطاقة الهوائية إذا توفرت له معلومات عن خصائص الهواء في منطقة ما، وعن سرعته واتجاهاته، ومعدل التغير في سرعته.

10-3-3 تكنولوجيا طاقة المد والجزر

تتوجه الأنظار في عصرنا الحاضر في مجال استغلال حركة المد والجزر، على الاستفادة من هذه الظاهرة في توليد الطاقة الكهربائية، وتقوم الفكرة على أن منسوب الماء يرتفع وقت المد وينخفض وقت الجزر في البحار والمحيطات. وفي ضوء، ذلك يوجد فارق في ارتفاع منسوب الماء، ويشكل هذا الفارق مصدراً كبيراً للطاقة خاصة إذا أخذنا بعين الاعتبار ملايين الأمتار المكعبة التي تتعرض لهذه الحركة، وتقوم بعض بلاد العالم بظاهرة مماثلة في وقتنا الحاضر لتوليد الطاقة الكهرومائية، وفي حالة المد والجزر، يكون طموحنا متركزاً حول إمكانية حجز الماء أثناء المد ثم منع انحساره عن الشواطئ، ولذا تبقى في مستوى أعلى من مستوى ماء البحر في حالة الجزر. وهذا الفارق في الارتفاع هو الذي يمكن الاستفادة منه في تشغيل التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية.

ومع بداية القرن العشرين، قامت بعض الأبحاث والتجارب الناجحة في مجال بناء محطات لتوليد الطاقة الكهربائية، وقد أفادت الأبحاث بإمكانية تحويل الفكرة إلى مجال تطبيقي، ولدى الأخذ بفكرة استغلال طاقة المد في البحار لا بد من إجراء

دراسات حول جدوى مشاريع هذه الطاقة من وجهة نظر اقتصادية وفنية، وهناك عدد من الأمور التي ينبغي الأخذ بها ومنها:

1- حركة الماء أثناء المد والجزر وحجم الحوض الذي يمكننا إنشاءه.وتأتي أهمية ذلك في معرفة حجم ارتفاع منسوب الماء فوق مستوى البحر، وكمية الماء المحجوزة في الحوض، ولهذين الأمرين أثرهما في الفارق بحجم الماء الذي سيستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية.

2- أن تقام المحطات في مناطق طبيعية ملائمة تشكل بطبيعتها أحواضاً مناسبة طبيعية بحيث لا يتطلب الأمر سوى إنشاء سدود بمقاسات معتدلة وتكلفة قليلة.

3- أن تكون المنطقة التي ستقام بها المحطة موقع جغرافي قريب من سوق استهلاك الطاقة الكهربائية.

4- أن لا تعيق المحطات المقامة الملاحة البحرية، ولا تؤثر على أحداث تلوث الجو أو ماء البحار والمحيطات.

4-3-10 تكنولوجيا الطاقة الجيوحرارية

تقوم فكرة إقامة تطبيقات تستغل الطاقة الحرارية الأرضية التي توجد بشكل مخزون حراري في الماء السلخنة الأرضية التي توجد بشكل مخزون حراري في الماء السلخنة أو الأبخرة أو الصخور الحارة. وأكثر التطبيقات في عصرنا الحاضر قامت على أساس الحصول على الطاقة الكهربائية من حقول الماء السلخن والماء الحار. وأما الصخور السلخنة فما زال استغلالها قيد الأبحاث والدراسات. وفي محطات توليد الطاقة الكهربائية من الماء السلخن وبخار الماء الحار، يتم حفر بئر للوصول إليها وضخها إلى سطح الأرض واستعمالها بشكل مباشر دون الحاجة إلى الدخول في حلقات وسيطية.

وفي وقتنا الحاضر أمكن استخدام الطاقة الجيوحرارية في قسمين رئيسيين وهما:

1- توليد الطاقة الكهربائية.

2- الاستخدامات غير الكهربائية، ومن مثل هذه الاستخدامات المشكلات الطبية والزراعية، والصناعية، وتدفئة البيوت.

10-4 أسئلة الفصل العاشر:

1- ماذا يقصد بمصادر الطاقة المتجددة؟ أعط 3 أمثلة.

2- ماذا يقصد بمصادر الطاقة غير المتجددة؟ أعط مثالين.

3- ما المبدأ الذي تقوم عليه تكنولوجيا الطاقة الجيوحرارية؟

4- ما طموح العلماء في استخدام التفاعلات النووية الالتحامية كمصدر بديل للطاقة؟ ما مبدأ هذه التكنولوجيا؟

5- أ- ماذا يقصد بالمصادر البديلة للطاقة؟

ب- هل تعتبر الرياح مصدراً للطاقة البديلة؟ وضح إجابتك؟

6- يرى العلماء بإمكانية الاستفادة من ظاهرة المد والجزر لتوليد الطاقة، اشرح ذلك.

7- قارن بين المجمعات الشمسية الثلاثة: الحرارية، والكهربائية، والفتوتوكيميائية؟

8- ماذا يقصد بالثابت الشمسي؟ وما أهميته في حسابات الطاقة الشمسية؟

9- كيف يؤثر الغلاف الغازي المحيط بالأرض على الإشعاع الشمسي؟ قدم مثالاً.

10- اذكر مبدأ عمل كل من:

أ- المجمعات الشمسية المسطحة.

ب- المجمعات الشمسية المركزة.

جـ- المجمعات الشمسية المفرغة.

قاموس المصطلحات والخلاصات

القائمة الأولي
قائمة المصطلحات

اقتلاع: عملية نزع الجليدية للمواد والكتل الموجودة على سطح الأرض.

الأحافير المرشدة: نوع من الأحافير تتميز بحياتها قصيرة المدى وانتشارها الجغرافي الواسع. وتستخدم في تحديد العمر النسبي للصخور.

الأحفورة: بقايا أو آثار كائن حي عاش في الزمن السابق وحفظت بين طبقات الصخور.

إزاحة جانبية للصدع: المسافة الأفقية التي تتحركها الكتل الصخرية بصورة أفقية.

الانزلاقات الأرضية: حركة المواد من فتاتات وركامات على المنحدرات بتأثير قوة الجاذبية الأرضية.

البحيرة: مسطح مائي تحيط به الأرض اليابسة من جميع الجهات وتقع فوق أجزاء القارات.

البركان: هو تركيب جيولوجي ظاهر على سطح الأرض تكون نتيجة خروج مواد مختلفة من باطنها ويستدل عليه من بعض أجزائه مثل الشق أو الفوهة.

باثوليت: كتلة ضخمة من مواد صخرية نارية اقتحمت طبقات القشرة الأرضية واستقرت على مواقع مختلفة في أعماقها.

بلورات: أجسام صلبة طبيعية تتكون من ذرات أو أيونات أو جزيئات تتكون سطوحها النامية بصورة منظمة.

البطنقدميات: عائلة من قبيلة الرخويات حلزونية الشكل ظهرت في العصر الكامبري وتنوعت أشكالها واستمر انتشارها في العصر الكاريتاسي والثلاثي والرباعي حتى وقتنا الحاضر.

البئر: ثقب يحفر في الأرض إلى مستوى يزيد عن مستوى الماء الجوفي.

تأريخ الأرض: مسعى من علماء الجيولوجي للكشف عن نشأة الأرض وعمرها وأيضاً تحديد عمر بعض صخورها إما بصورة مطلقة أو نسبية (تقريبية).

تحت التربة: وهو قطاع يوجد تحت التربة العلوية مباشرة.

التربة: هي مواد معدنية متفككة مختلطة غالباً مع مواد عضوية، وتوجد غالباً على الطبقة العلوية من سطح الأرض حيث توفر الحياة لكل من النبات والحيوانات.

تحول: تغير يحدث في الصخور يعزى إلى إضافة مواد جديدة غالباً ما تكون السوائل التي تجري قرب القشرة الأرضية.

تورق: تكون طبقات رقيقة متوازية على سطح الصخر المتحول كما يحدث في المايكا.

توازن: حالة التوازن التي تحدث في القشرة الأرضية نتيجة تساوي قوى الضغط عليها من كل الاتجاهات.

تشويه: حركة القشرة الأرضية التي يتكون نتيجها الجبال والمحيطات والأحواض البحرية.

تعرية: تفتت وانسلاخ المواد عن سطح القشرة الأرضية بفعل الماء والرياح والجليد.

تقشر: تشقق صخور سطح القشرة الأرضية.

تجوية: العمليات الكيميائية والفيزيائية التي ينتج عنها تفتت الصخور وتغير جوهرها الكيميائي والمعدني.

تحلل: تفاعل كيميائي ينتج عنه تحلل مركب كيميائي إلى مواد بسيطة.

التشويه اللدن: وهو نوع من الإجهاد نتيجة وقوع قوى على الصخر فيحدث تغير فيه ولا يزول بزوال القوة المؤثرة.

التحول التماسي: التحول الذي يصيب الصور نتيجة ملامسة الماغما لها.

التشوه المرن: تشوه يحدث في الصخور نتيجة وقوع قوى متكافئة عليها فتسبب له الإجهاد وتزول آثاره مع زوال القوى المؤثرة.

التفحم: تحول القطع النباتية إلى فحم نتيجة فقدان بعضاً من مكونات النباتات مثل الاكسجين والنيتروجين.

تقارب التصادم: فرضية من فرضيات نظرية تكتونية الصفائح وتصف اقتراب صفيحة قارية من أخرى قارية، ويقود هذا إلى تكوين الجبال على امتداد منطقة التصادم، وما سلاسل جبال هملايا إلا نتيجة تقارب الصفحية الهندية، الاسترالية مع صفيحة لوراسيا.

تقارب الطرح: فرضية من فرضيات نظرية تكتونية الصفائح وتصف اقتراب صفيحة قارية من أخرى قارية، ويقود هذا إلى غوص الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية مما يؤدي إلى طرح استهلاك، جزء من مادة الصفيحة المحيطية ويتكون بين الصفيحتين نتيجة لذلك منطقة أخدود.

توسع قاع المحيط: فرضية تفترض أن قيعان المحيطات تتوسع بصورة مستمرة بما يضاف من صهارة صخرية في منطقة ظهور المحيطات.

التكوين: تتابع من الطبقات الصخرية تشكل وحدة جيولوجية صخرية وتتميز صخور التكوين بأنها ذات تركيب كيميائي ومعدني واحد وسمك ثابت.

التلاحم:عملية يتم فيها ترسب حبيبات الرواسب لبعض المواد مثل السيلكيا والكاليست بين الفتاتات والمواد في أحواض الترسيب مما يساعد في تماسكها والتحامها معاً.

ثقب: فتحة في سطح القشرة الأرضية تسمح بخروج الغازات والسوائل، وقد تعتبر الفوهة الرئيسية في البركان المخروطي.

الثقب الأسود: نجم هرم في نهاية فترة حياته له كثافة عالية ولا يرى بالتلسكوب ولكن يحدد مكانه نتيجة جذبه لأشعة النجوم الأخرى التي تمر بقربه.

تكنولوجيا الطاقة الشمسية: هي أجهزة وأدوات يقوم مبدأ عملها على تحويل الطاقة الشمسية إلى أنواع أخرى من الطاقة.

الجدار السفلي للصدع: المنطقة الصخرية السفلى للصدع والتي تحركت عن جسم الصدع.

الجدار العلوي للصدع: كتلة الصخور التي تقع أعلى سطح الصدع.

جناح الطية: أحد جانبي الطية.

جبل بركاني: مخروط من المواد الصلبة تكون نتيجة تصلب اللافا في البراكين النشيطة.

الجليدية (الثلاجة): كتلة ضخمة من جليد متحرك عن سفوح المنحدرات والأراضي المنبسطة.

حدود الصفائح: مناطق تفصل بين الصفائح الصخرية الأرضية حيث تتحرك هذه الصفائح على أشكال متعددة منها التقاربي ومنها التباعدي وأيضاً هناك حركات جانبية.

حدود متباعدة: هي حدود تبتعد فيها الصفائح الأرضية عن بعضها إلى بعض وتحدث في منطقة ظهور المحيطات.

حركات أرضية سريعة: تحدث في زمن قصير ويمكن مشاهدة ما ينتج عنها.

حدود متقاربة: حدود تقترب فيها الصفائح الأرضية بعضها إلى بعض وهي على نوعين إما تقارب الطرح أو تقارب التصادم.

الحوض: طية مقعرة متماثلة تميل طبقاتها بالدرجة نفسها نحو وسطها في جميع الاتجاهات.

الحمل: انتقال الحرارة نتيجة حركة السائل.

حجر مغناطيسي: حجر طبيعي يتكون من مواد مغناطيسية.

حمم بركانية: صخور منصهرة تنبثق من باطن الأرض إلى سطحها.

الدفق الحراري: كمية الطاقة الحرارية المتدفقة من سطح الأرض وتقاس بوحدة السعر/سم2 .

الدلتا: منطقة مثلثية من الأرض تقع في مقدمة جدول أو نهر.

الرأسقدميات: عائلة من قبيلة الرخويات لها أصداف جميلة مزينة.

رمية الصدع: الازاحة العمودية بين طبقتين متناظرتين من طبقات الصدع.

رسوبيات ريحية: الرسوبيات التي تحملها الرياح.

رسوبيات رملية: الرسوبيات التي تحتوي كميات كبيرة من الرمال.

رماد بركاني: مقذوفات صلبة بركانية تتكون من دقائق أو حبيبات يبلغ قطرها ربع ملمتر تقريباً.

الزلزال: هو تشوه ينتج من سلسلة موجات مرنة تنتقل بواسطة القشرة الأرضية ويعود أسبابها إلى حركات الألواح الصخرية أو إلى انبثاق الملجما من البراكين النشطة.

السيليكات: معادن متنوعة يوجد في تركيبها عنصر السيليكون بشكل أساسي وهناك عناصر أخرى وتشكل 90٪ من القشرة الأرضية تقريباً.

الساعة الإشعاعية (الراديومترية): ساعة يبدأ عملها عندما يبدأ عنصر مشع بالانحلال التلقائي ينتج منه عناصر مستقرة.

سرعة الموجة: المسافة التي تقطعها موجة خلال وحلة الزمن.

سلم الزمن الجيولوجي: إطار زمني تقريبي يوضح الأحداث الكبيرة التي أصابت القشرة الأرضية خلال فترة نشوئها حتى الآن.

سطح الصدع: السطح الذي يحدث عنده الصدع ويتحرك عليه الجدار السفلي.

الستار: الطبقة التي تقع تحت القشرة الأرضية مباشرة ويحدها من أعلى إنفصال موهو ومن الأعماق انفصال جوتنبرغ.

السحب الغازية: تجمع غاز الهيدروجين في الكون بحيث يكون لـه كثافة عاليـة نسـبياً ويحتل مسلحات شاسعة جداً.

السديم: أجرام سماوية بعيدة لها حجم واضح وشكل محدد ومعروف.

الشهاب: نيزك اصطدم بالغلاف الجوي واشتعل بلهب ساطع.

الصدع: كسر يحدث في التراكيب الصخرية بحيث يقسمه إلى كتلتـين يتحـرك أحدهمـا عن الآخر.

الصدع العادي: صدع يتحرك فيه الجدار المعلق إلى أسفل بالنسبة للجدار السفلي.

الصدع العكسي: هو صدع تكون فيه حركة الجدار المعلق إلى أعلى بالنسـبة للجـدار السفلي.

الصدع العمودي: هو صدع يتحرك فيه الجدار المعلق بزاوية ميل مقدارها 90°.

الصفيحة التكتونية: قطعة من الصخر الصلـب المتماسـك تطفـو فـوق طبقـة مائعـة (استينوسفير) وتتحرك عليها.

الصخر: مادة صلبة تتكون من معدنين أو أكثر تكونت نتيجـة ظـروف تكويـن معينـة والصخر الوحدة الأساسية التي تتكون مها القشرة الأرضية.

صخور رسوبية: نوع من الصخور يتكـون مـن تلاحـم وتماسـك فتاتـات تجمعـت في أحواض الترسيب مثل الصخور الكلسية والطينية والرملية.

صخور نارية: صخور تكونت وتشكلت نتيجة برودة وتصلـب الماجمـا أو اللافـا بعـد خروجها من الشقوق البركانية.

صخور متحولة: صخور تكونت نتيجـة تعـرض صخـور متكونـة بصـورة مسـبقة إلى الضغط الشديد أو الحرارة العالية أو العاملين معاً.

الضغط: قوى تعمل على تقليل حجوم المواد.

الطاقة الأحفورية: طاقة نستخدمها من نواتج تحلل كائنات حيّة حيوانية ونباتية عاشت في عصور سابقة.

الطاقة: قدرة الجسم على القيام بشغل ما وتقاس بوحدة الجول.

الطية: تجعد أو انثناء في التراكيب الجيولوجية الأفقية نتيجة تعرضها لقوى ضغط أو شد وهذا يؤدي إلى تقوسها إلى أعلى أو إلى أسفل، وتبعاً لمحور الطية والمستوى المحوري تقسم الطية إلى عدة أنواع ومنها: الطية المحدبة، والمقعرة، والعمودية وما إلى ذلك.

الطية المحدبة: الطية يكون تقوس صخورها إلى أعلى وتتميز بوجود قمة في أعلاها وتكون الطبقات الحديثة فيها خارجها.

الطية المقعرة: طية يكون تقوس صخورها إلى أعلى وتتميز بوجود قاع لها وأما الصخور الأحدث فتكون في وسطها.

الطية المتماثلة: طية يكون لجناحيها نفس الميل.

الطية غير المتماثلة: طية يتقدم فيها التماثل في ميلان جناحيها.

الطبقة: وحدة صخرية مستوية من الصخور الرسوبية، ولها تركيب معدني ونسيج معينين، وتتميز الطبقة بوجود سطح علوي وآخر سفلي يحددانها عن الطبقات الأخرى.

الطبعات: نوع من الأحافير على صورة أرجل أو بقايا حيوانات معينة محفوظة في الصخور الطينية.

الطمي: نوع من الرسوبيات تكونت بفعل المياه الجارية.

الطفوح البركانية: صخور بركانية مصهورة بردت وتصلبت على سطح الأرض.

الطحالب: كائنات حية تعيش في البحار وتقوم بعملية التركيب الضوئي.

عدم التوافق: سطح يفصل بين مجموعتين من الصخور إحداهما قديمة والأخرى حديثة، ويوضح وجود هذا السطح حدوث عملية حت للصخور ووجود فترة زمنية ضائعة انقطع فيها عملية الترسيب بين المجموعتين.

علم الطبقات: علم يختص بدراسة طبقات الصخور.

العمالقة الحمر: نوع من النجوم كبيرة الحجم ويميل لونها إلى الأحمر وتمثل مرحلة متأخرة من مراحل تطور النجم.

العمر المطلق: هو عمر محدد دقيق يمثل تاريخ تكون الصخور والمعدن.

العناقيد المجرية: مجموعات من المجرات تجمعت معاً بفعل الجاذبية بينها.

علماء الزلازل: علماء متخصصون بدراسة الحركات التي تحدث على سطح القشرة الأرضية.

العدد الذري: هو عدد الإلكترونات أو البروتونات في الذرة.

العدد الكتلي: هو مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات بالذرة.

العقدة: تجمع من المعادن منتشرة على سطوح القشرة الأرضية تحت أعماق البحار والمحيطات.

عالم الأحافير: عالم متخصص بدراسة الحياة القديمة وأشكالها المختلفة.

العنصر: شكل أساسي من أشكال المادة لا يمكن تحويله إلى صورة أبسط منه بالطرق المعروفة لدى الإنسان، ويمكن تعريفه على أنه مادة ذراتها متشابهة كيميائياً.

عمليات خارجية: عمليات تحدث على سطح القشرة الأرضية فتعمل على إحداث تغييرات في مادته مثل التجوية والحت والرياح والأمطار.

عمليات داخلية: عمليات تحدث في باطن الأرض وعلى سطحها وقد تظهر نتائجها على سطحها الخارجي مثل البراكين والزلازل.

الغلاف الصخري: الطبقة اليابسة الخارجية من سطح القشرة الأرضية ويصل معدل سمكها 100كم.

الغلاف المائع: طبقة لدنة من الصخور تقع تحت القشرة وفي أعلى منطقة الستار وتعتبر جزء منه ويبلغ معدل سمكها 100كم تقريباً.

الغلاف الحيوي: غلاف يضم الكائنات الحية يوجد على السطح اليابس والمائي ويؤدي إلى حدوث تغييرات فيهما بفضل التفاعلات البيولوجية لهذه الكائنات الحية مع مواد الغلافين اليابس والمائي.

الغلاف الجوي: خليط من الغازات يشكل غلاف يحيط بالكرة الأرضية بفعل الجاذبية الأرضية له.

غاز خامل: عنصر مستقر لوجود مدارات (أفلاك) خارجية مشبعة بالإلكترونات.

غرين: تسربات صلبة دقائقها ذات حجم أكبر من دقائق الطين وأصغر من دقائق الرمل.

فاصل (لامستمر) جوتنبرغ: طبقة لدنة من الصخور تفصل الستار عن لب الأرض ويصل معدل عمقه إلى 2885كم.

فاصل (لامستمر) موهو: طبقة لدنة من الصخور تفصل القشرة عن الستار ويصل معدل عمقه 100كم تقريباً.

فاصل (لامتسمر) إنجه: فاصل بين طبقة اللب الخارجي والداخلي ويصل معدل عمقه 5140كم.

الفورامينفرا: كائنات حية مجهرية وحيدة الخلية تتكون من الكاليست.

فوق قاعدية: نوع من الصخور النارية تحتوي على سيليكا بنسبة أقل من 45٪.

الفاصل: كسر عمودي على مستوى الطبقة دون أن يرافقه حدوث حركة، ويحدث نتيجة وقوع نوع من الضغط الجانبي على الطبقة الصخرية الضعيفة.

القاعدية: نوع من الصخور النارية تبلغ نسبية السيلكيا فيها بين 52 - 45٪ ونسبة الكوارتز فيها 10٪.

القبة: طية محدبة متماثلة تميل جميع طبقاتها بنفس الدرجة.

القدر النجمي: مقياس كمي لوغاريتمي يستخدم لتقدير قوة إضاءة النجوم، وفيه كل فرقاً واحد بالقدر النجمي يقابل قوة إضاءة نجمية تقدر بـ 2.5 ضعفاً وبحيث أن القدر النجمي الأعلى قيمة يقابله قوة إضاءة نجمية أقل.

القشرة الأرضية: الطبقة الخارجية من سطح الأرض تقدر كثافتها بين 2.7-2.9غم/سم3 وسمكها بين 5-40كم.

قاع المحيط: المنطقة المصهورة بين ظهر المحيط والحافة القارية وهي منطقة منخفضة.

القالب الداخلي: نموذج يوضح الشكل الداخلي لبعض أنواع من الأحافير.

الكويكب: جسم سماوي صلب يوجد في المجموعة الشمسية وهو أصغر حجماً من الكوكب، ويعتقد أن أصله إنفجار كوكب لم يتم تكونه.

الكوكبات النجمية: مجموعة من النجوم تتميز بأن لها ترتيب خاص تخيل القدماء أنها تشبه صورة أشياء يعرفونها مثل الحيوانات أو الأشخاص.

الكثبان الرملية: أكوام أو تجمعات من الرمال تشاهد في الصحارى.

كثافة: هي حاصل قسمة كتلة الجسم على حجمه، وتفيد الكثافة في التعرف على كم ثقل الصخر.

كالديرا: بركان ضخم.

كونجلوميرات: كتل صخرية رسوبية عبارة عن كسر مستديرة مصقولة، كاملة تحتوي معظم المعادن الأصلية المكونة للصخر.

الكون: مادة وطاقة.

اللب (النواة): الطبقة الداخلية للأرض وهو كروي الشكل ويمتد من عمق 2885كم حتى مركز الارض، واللب مقسم إلى منطقتين الخارجية فيهما صخور مصهورة والداخلية صخور صلبة متماسكة.

مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والنباتية: كل طبقة من الصخور أو كل مجموعة من الطبقات الصخرية الرسوبية تحتوي على مجموعة محددة من الحيوانات والنباتات تختلف عن تلك الموجودة في الطبقات الأحدث أو الأقدم منها.

المطر: تساقط قطرات الماء من قواعد السحب إلى سطح الأرض .

مبدأ تعاقب الطبقات: إن طبقات الصخور الرسوبية تتعاقب الواحدة فوق الأخرى بحيث تكون الأقدم في الأسفل والأحدث في الأعلى، وتكون هذه الطبقات مستوية أفقية توازي مستوى حوض الترسيب.

مبدأ النسقية: إن العوامل الجيولوجية الحاضرة التي تعمل على تشكيل سطح القشرة الأرضية هي نفسها التي أثرت على هذا السطح في الماضي. ويعرف بمبدأ الوتيرة الواحدة.

المجرة: تجمع نجمي لأعداد هائلة من النجوم تحكمها قوة التجاذب بينها مثل مجرة درب اللبانة.

محور الطية: محور وهمي وهو عبارة عن الخط الناتج من تقاطع مستوى محور الطية مع الطبقة العليا للطية المحدبة أو الطبقة السفلى للطية المقعرة.

المستوى المحوري للطية: مستوى وهمي يقسم الطية إلى قسمين متماثلين في منطقة أقصى تكور الطية.

المضاهاة: المقارنة أو المماثلة بين الوحدات الصخرية في المناطق المختلفة من حيث نـوع الصخور وعمرها ومن حيث خصائصها الفيزيائية.

المشاهدة (الملاحظة): قيام الفرد باستخدام حواسه في دراسة شيء أو ظاهرة ثم تسجيل نتائج ذلك بصورة مباشرة وبدقة وموضوعية.

المطياف: جهاز يستخدم لتحليل الأشعة الضوئية المرئية.

الموجات الزلزالية: تذبذبات تنتقل عبر صخور القشرة الأرضية نتيجة حـدوث تفريـغ لطاقة حركية عالية في بؤرة موضع الزلزال.

المياه الجوفية: هي مياه توجد تحـت سـطح الأرض وتكـون مخزونـة في مسـام الصخـور ويهتم بها الجيولوجيون لأهميتها للزراعة والصناعة والأغراض المنزلية.

النجم: جرم سماوي تبلغ درجة الحرارة والضغط في باطنة قدراً هائلاً ولذا فهو مضيء تلقائياً.

النابض: نجم يصدر موجات قصيرة مثل موجات الراديو وبصورة متذبذبة وبسرعة فائقة.

النجوم النيوترونية: نجوم تتكون من النيوترونات ولذلك فهي عاليـــة الكثافـة وتمثـل المرحلة الأخيرة في مراحل تطور النجم.

النيزك: جرم سماوي ليس له حجم ثابت ويحتوي على مواد مشعة ومـواد عضويـة وقـد يكون مصدره من المجموعة الشمسية أو من الكون الواسع.

نظائر العنصر: ذرات العنصر الواحد التي تتشابه بالعدد الذري وتختلف بالعدد الكتلي.

نظرية الصفائح التكتونية:نظرية تصـف الغـلاف الصخـري للقشـرة الارضيـة، وتبعـاً لذلك فيعتقد بأنه يتكون من عدد الألواح الصخرية الضخمـــة بعضـها يحمـل محيطات والآخر يحمل قارات ونوع ثالث يحمل قارات ومحيطات أو أجزاء منها.

النهر: شكل من أشكال الماء السطحي الذي يجري في وديان تأخذ الحـرف (V) وتحمـل مياه الأنهار معها حمولة من المواد المعلقة والمجرورة والذائبة.

الوزن النوعي: نسبة وزن حجم معين من المادة إلى وزن حجم مساوٍ من الماء المقطر عند درجة حرارة 4° م.

الينبوع: مكان تظهر فيه المياه الجوفية على سطح الأرض بصورة طبيعية، وأحياناً يمكـــن إظهار المياه الجوفية على سطح بصورة اصطناعية وذلك بحفر الآبار.

القائمة الثانية

المعادن والصخور

المعادن: هي مواد كيميائية توجد غالباً في القشرة الأرضية يوجد جميعها في حالة عدا الزئبق فهو معدن سائل، وتتكون المعادن إما من تبلور الصهارة الصخرية أو تترسب من المحاليل المائية.

الصخور: هي مواد صلبة تتكون من مزيج من المعادن، وبعض أنواع الصخور تتكون من معدن واحد مثل الصخر الجيري، وبصورة عامة يصعب تمييز المعادن التي يتشكل منها الصخر لأنها تتكون من دقائق وحبيبات مجهرية، ويوجد في الطبيعة ثلاثة أنواع من الصخور يبنها الجدول التالي:

الأنواع الثلاثة من الصخور

نوع الصخر	طريقة تكونه	ملاحظات
1- الناري	يتكون نتيجة صعود الصخور المنصهرة من جوف الأرض إلى سطحها أو قرب ذلك السطح	تسمى الصخور المنصهرة وهي في باطن الأرض الملجما، وعندما تخرج الملجما إلى سطح الأرض تسمى اللافا
2- الرسوبى	يتكون نتيجة ترسب الدقائق التي تحملها التيارات المائية والرياح، وتنشأ الدقائق من عمليات التجوية والحت لصخور الأرض حيث تترسب في أحواض الترسيب، ثم تلتحم وتتماسك معاً بفعل الحرارة والضغط ليتشكل منها الصخور الرسوبية	من أمثلة الصخور الرسوبية هي الصخور الرملية والطينية والجيرية والكونجلوميرات
3- المتحولة	تتكون نتيجة تعرض الصخور المتكونة بصورة مسبقة إلى الضغط الشديد والحرارة العالية	يتحول الصخر الجيري إلى الرخام، والصخر الناري إلى كوارتزيت

أمثلة من أنواع الصخور الثلاثة

النارية	المتحولة	الرسوبية
البازلت	الرخام	الكونجلوميرات
الجرانيت	الفيلايت	الطباشير
الديورايت	شيست المايكا	الحجر الطيني
الدولورايت	هورنفلز	خام البوتاس
الانديزايت	جرانيوليت	البريشيا
الأوبسيديوم	الرخام الرمادي	الملح الصخري
الريولايت	الميتاكوارتزيت	الحجر الحديدي
السيانيت	الفيليب	الصوان
الجابرو	النايس	الصخر الرملي
القنابل البركانية	الأردواز	الحجر الفوسفاتي

القائمة الثالثة
بعض أسماء المعادن وصيغها الكيميائية

اسم المعدن	الاسم الكيميائي	الصيغة الكيميائية
الذهب	الذهب	Au
الفضة	الفضة	Ag
الكوارتز	ثاني أكسيد السيكيون	SiO_2
بيريت الحديد	كبريتيد الحديد	FeS_2
ملح الهاليد	كلوريد الصوديوم	NaCl
الكاليست	كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$
الجبس	كبريتات الكالسيوم المائية	$CaSO_4.2H_2O$
الأورثوكليز	سليكات الألمنيوم والبوتاسيوم	KaLS3O8
المسكوفيت	سليكات الألمنيوم والبوتاسيوم المائية	$KAlSi_3O_{10}(OH)_2$
الجالينا	كبرتيد الرصاص	PbS
الملجنيت	أكسيد الحديد المغناطيسي	Fe_3O_4
الملاكايت	كربونات النحاس القاعدية	CuCO3.Cu (OH)2
الهيماتيت	أكسيد الحديد III	Fe_2O_3
الليمونايت	أكسيد الحديد II	FeO
الجرافيت	كربون متبلور	C
الكبريت	الكبريت	S
الدولومايت	كربونات الكالسيوم والماغنيسيوم	$CaCO_3.MgCO_3$
الأباتيت	فوسفات الكالسيوم	$Ca_4FeCl(PO_4)_3$
الأوليفين	سليكات الحديد والماغنيسيوم	$(Mg\text{-}Fe)SiO_4$

القائمة الرابعة

الوزن النوعي للمعادن

يعتبر الوزن النوعي للمعدن بأنه أداة تساعد الجيولوجي الكشف عن معدن مجهول. ويقوم مبدأ حسابه على أساس أن الحجوم المتساوية من المواد المختلفة لها أوزان مختلفة عند نفس درجات الحرارة، فالوزن النوعي يقيس الفرق بين هذه الأوزان، ثم يطبق القانون العلمي التالي:

$$\text{الوزن النوعي للمعدن} = \frac{\text{وزن المعدن}}{\text{حجم الماء الذي يمثل حجم قطعة المعدن}}$$

$$\text{او الوزن النوعي للمعدن} = \frac{\text{وزن قطعة من المعدن بالهواء}}{\text{وزن قطعة المعدن بالهواء} - \text{وزنها بالماء}}$$

وعملياً يمكن ايجاد الوزن النوعي للمعدن وفق الخطوات التالية:

1- يستخدم الميزان لايجاد وزن قطعة من المعدن.

2- توزن نفس القطعة وهي مغمورة بالماء.

3- يطبق القانون المشار إليه .

مثال: إذا كان وزن قطعة من المعدن هو 57 غرام وهي في الهواء وعند وزنها وهي مغمورة بالماء كان وزنها 43غرام، كم الوزن النوعي للمعدن؟

الحل:

$$\text{الوزن النوعي للمعدن} = \frac{\text{57غم}}{\text{57غم} - \text{43غم}}$$

= 4.1 أو 4.1 غرام/سم3

القائمة الخامسة

ويوضح الجدول التالي الوزن النوعي لبعض المعادن

اسم المعدن	الوزن النوعي	اسم المعدن	الوزن النوعي
الكارناليت	1.6	الزركون	4.7
الأوبال	2.5-1.9	البيريت	5.2-4.8
الكبريت	2.1	الجالينا	7.5
الجرافيت	2.2	النحاس	8.9
الماس	3.5	الفضة	11-9.6
الكوارتز	2.65	الذهب	19.3-15.5
الجبس	2.3	البزموت	9.8-9.7

القائمة السادسة

المعادن الأكثر شيوعاً من تلك التي يتشكل منها سطح القشرة الأرضية

المرتبة	اسم العنصر	النسبة المئوية	المرتبة	اسم العنصر	النسبة المئوية
1	الاكسجين	46.17	9	التيتانيوم	المجموع للعناصر من 9-15 هو %1.17
2	السليكون	27.69	10	الفوسفور	
3	الألمنيوم	8.07	11	الكربون	
4	الحديد	5.05	12	الهيدروجين	
5	الكالسيوم	3.65	13	المنغنيز	
6	الصوديوم	2.75	14	الكبريت	
7	البوتاسيوم	2.58	15	الكلور	
8	الماغنيسيوم	2.08			

القائمة السابعة

التغييرات التي تحدث عبر سطح القشرة الأرضية

يعاني سطح القشرة الأرضية من تغيرات دائمة وبصورة مستمرة للمواد التي يتشكل منها، فهناك مواد تتكون بصورة جديدة تؤدي إلى حدوث عمليات بناء، وهناك عوامل نحت وينتج عنها عمليات هدم لهذا السطح، وعموماً إن هناك دورة للبناء وإعادة تكون المواد وترسيبها لتكوين مواد جديدة. وتصنف هذه العمليات إلى عمليات بناء وهدم.

التغيرات في سطح القشرة الأرضية

عمليات البناء	عمليات الهدم
تتحرك الصفائح والألواح الصخرية التكتونية وينتج عنها ما يلي: 1- حدوث زلازل أرضية 2- نشوء وتكون الجبال 3- النشاط والثورات البركانية تنتقل الرواسب والفتاتات وتترسب بفعل: 1- الجليديات 2- الماء 3- الرياح	إن التجوية وتغير القشرة وموادها بتأثير التغيرات الكيميائية والفيزيائية ومنها: 1- التجوية الكيميائية، وتحدث بفعل الضغط والحرارة والحموض والأكسجين وتأثير بعض النباتات والحيوانات وتودي إلى حدوث تغيرات في معادن القشرة الأرضية. 2- التجوية الفيزيائية، وتؤدي إلى حدوث تغيرات في الخواص الطبيعية لمادة الصخر وتحدث بفعل: 1- الجليديات وتجمد الماء في الشقوق الموجودة بين الصخور. 2- التيارات المائية. 3- الرياح.

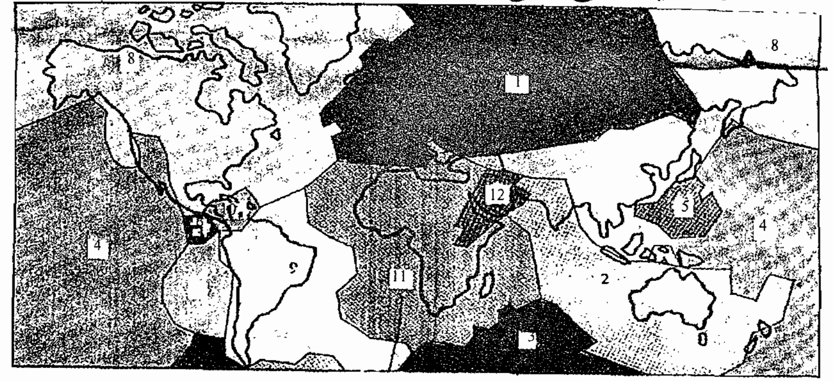
القائمة الثامنة : نظرية الصفائح التكتونية

تقترح نظرية الصفائح التكتونية أن الغلاف الصخري الذي تتشكل منه القشرة الأرضية أنه يتكون من صفائح صخرية صلبة تشغل مساحات واسعة على سطح الأرض وتشكل فرشة لأعماق المحيطات والبحار الكبيرة، وهذه الصفائح الصخرية في حالة حركة بصورة مستمرة، وتختلف سرعة هذه الصفائح من صفيحة إلى أخرى لكن معدل سرعة الصفائح تتراوح بين 2-20سم سنة، ولقد لوحظ وجود قمم (ظهور) محيطية تكونت بفعل تباعد الصفائح بعضها إلى بعض وتدفق المواد والمقذوفات البركانية بين كل صفيحتين متجاورتين. ويتفق العلماء على أن القارات والمحيطات والبحار والأخاديد محمولة على حوالي 25 صفيحة تكتونية تكون بمجموعها الغلاف الصخري للقشرة الأرضية. ويبين الجدول التالي أسماء الصفائح التكتونية الرئيسية في المعمورة.

الصفائح التكتونية الرئيسية

الرقم	اسم الصفيحة	الرقم	اسم الصفيحة
1	لوراسيا (أوراسيا)	7	نازكا
2	الهندية - الاسترالية	8	شمال أمريكا
3	الجنوبية	9	جنوب أمريكا
4	الهادى	10	الكاريبي
5	الفليبينية	11	الافريقية
6	كوكس	12	العربية

والشكل التالي يوضح توزع هذه الصفائح



القائمة التاسعة: حجم الزلزال

يقاس حجم الزلزال عادة وتقدر شدته كمياً بمقدار الاهتزازات التي تحدث عند موقع محدد على سطح القشرة الأرضية وفي أعماقها ويرتبط هذا القياس بصورة أو بأخرى بحجم الأضرار التي يحدثها الزلزال على سطح الأرض. وهناك اتجاه حديث في تقدير حجم الزلزال كمياً باستخدام جهاز هو السيزموغراف والذي يقوم مبدأه على الاهتزازات التي تحدث على سطح القشرة وتسجل على هذا الجهاز. وقد قام العالم شارلز ريختر عام 1935م بتطوير مفهوم قياس شدة الزلزال وأرسى أول جهاز ومقياس له سمي بمقياس ريختر.

ومن المعروف أن حجوم الزلازل في أنحاء المعمورة ليست متكافئة وتتراوح شدتها تبعاً لعوامل وظروف معينة، ولهذا فقد بني مقياس ريختر ليستوعب هذا الاختلاف بينها ولذا فهو مقياس لوغاريتمي أي تذبذب حركة الأرض واتساع هذه الذبذبات تزيد عشر مرات بين كل درجة والتي تليها على المقياس، فعلى سبل المثال إن زلزالاً شدته 6 درجات ريخترية يزيد 10 مرات عن زلزال شدته 5 درجات ريخترية أصاب نفس الموقع من سطح الارض، ومما يجدر الإشارة إليه أن مقياس ريختر مفتوح النهاية. وتحدث زلازل بصورة مستمرة على سطح المعمورة لكن الملاحظ أن الزلازل ذات الحجم الصغير تحدث أكثر من الزلازل ذات الحجوم الكبيرة، فمن المعروف أن أكثر من 9000 زلزال تحدث يومياً في أنحاء المعمورة وتزيد شدتها عن 1 درجة ريخترية. ويبين الجدول التالي فكرة عامة عن بعض الزلازل.

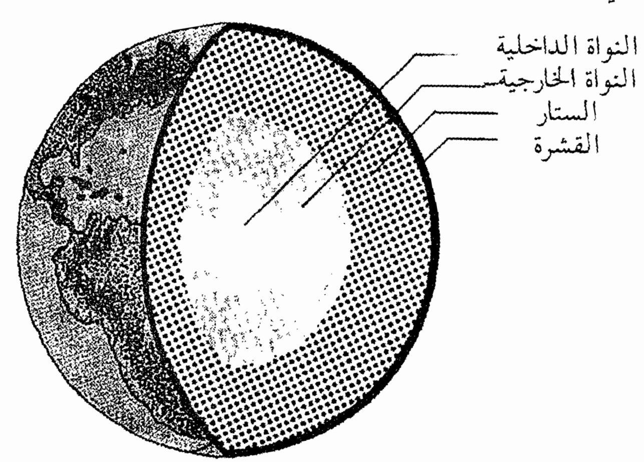
الزلازل

شدة الزلزال	معدل تكرارها سنوياً	الطاقة الزلزالية المنتشرة تكافئ
3	49,000	زلازل بسيطة تحدث بصورة روتينة
4	6000	ما يصدر من 1000 طن من المتفجرات
5	800	التجارب الذرية التى أجريت فى المحيط الهادى عام 1946
6	120	الطاقة المنتشرة من 2 مليون مكوك فضاء تطلقها أمريكا
7	18	ما يصدر من طاقة من سقوط مياه شلالات نياجارا لمدة 4 شهور
8	1	زلزال ضرب مدينة سان فرنسيسكو عام 1906م

القائمة العاشرة : الطبقات الداخلية للأرض

لقد توصل العلماء إلى وجود طبقات داخلية للأرض من سطح القشرة إلى المركز، ورغماً من توفر القناعات لديهم بوجود حدود فاصلة ثابتة بينها إلا أن المواد تنتقل من طبقة إلى أخرى داخل أعماق الأرض. وما يجدر التأكيد عليه هنا أن المشاهدات العلمية التي أكدت وجود هذه الطبقات قد لجأت إلى الاستدلالات غير المباشرة مثل البيانات التي تم التوصل إليها من نتيجة دراسات الموجات الزلزالية باستخدام جهاز السيزموغراف وأيضاً دراسة البراكين ونشاطاتها، والتباين الواضح بين درجات الحرارة على أعلى سطح الأرض وفي باطنها، ويبين الجدول والشكل الآتيين بعض المعلومات حول الطبقات الداخلية للأرض.

اسم الغلاف (الطبقة)	المكونات	السمك بوحدة الكيلومتر	درجة الحرارة بالدرجة المئوية	الوزن النوعي
1-القشرة الخارجية	الجرانيت	25-20	730-13	2.8
القشرة الداخلية	بازلت	40		3.2
2- الستار	صخر السبريدويت والأوليفين والماغنسيوم والحديد والسليكات	2700	2200-800	8-6
3- النواة الخارجية	نيكل وحديد	1400	5000-2200	10
4- النواة الداخلية		2560	10000-8000	10



المراجع

أ- قائمة المراجع العربية

1- أبو العينين، حسن سيد أحمد، (1967م). دراسات في جغرافية البحار والمحيطات- مكتبة الجامعة العربية. القاهرة- مصر.

2- آغا، شاهر جمال. (1995م). الزلازل حقيقتها وآثارها. عالم المعرفة.

3- أبو العينين، حسن. (1979م). كوكب الأرض وظواهره التضاريسية الكبرى. دار النهضة العربية- بيروت.

4- البصيلي، أحمد مصطفى وزميله. المعادن والصخور. الجمهورية العراقية- وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

5- باشا، سعد حسن صالح. (1992م). الجيولوجيا العامة (علوم الأرض). مؤسسة زهران. عمان.

6- جميل، عادل كمال وآخرون. (1981م). علم الصخور. الجمهورية العراقية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

7- عميرة، بلال سعد وآخرون. (1996). علوم الأرض والبيئة للصف الثاني الثانوي العلمي- وزارة التربية والتعليم- عمان.

8- جودة، حسن جودة، (1991م). معالم سطح الأرض. دار النهضة العربية- بيروت.

9- خوري، هاني نقولا. (1989م). المعادن والصخور الصناعية: توافرها وخصائصها ونشأتها. عمان. منشورات الجامعة الأردنية.

10- الخوري، فارس لطفي- مترجم. (1987م). علم الأرض: سلسلة المائة كتاب. دار الشؤون الثقافية العامة- بغداد.

11- الحمد، رشيد حمد وزميليه. 1985. الجيولوجيا (علم الأرض). للصف الثانوي العلمي. وزارة التربية. الكويت. ط1 .

12- حسن، محمد يوسف وزميليه. (1990م). أساسيات علم الجيولوجيا. مركز الكتب الأردني. عمان.

13- الصـائغ، عبدالهـادي يحيـى وزميلـه. (1977م). الجيولوجيـا العامـــة. ط2. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- جامعة الموصل.

14- صفي الدين، محمد. (1965). قشرة الأرض- دراسة مورفولوجيـة. دار الطباعـة الحديثة- القاهرة.

15- فوستر، روبترت ج. ترجمة الدكتور عبدالقادر عابد وآخرون. منشـــورات مجمـع اللغة العربية الأردني.

16- فوستر، روبرت ج، تركيب القشرة الأرضية والمعادن. الجزء الأول.

17- كربل، عبدالإله رزوقي. (1988م). علـم الأشـكال الأرضيـة الجيومورفولوجيـا. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- جامعة البصرة.

18- متولي، محمد. وجه الأرض .مكتبة الأنجلو المصرية- القاهرة.

ب - قائمة المراجع الأجنبية

1- Barhydt, Frances Bartlet et. al. (1993). The Science Teahers Book of Lists. Prentice Hall.

2- Frank, P, and Ray Wand S. (1994). Understanding Earth. Freeman and Company. New York.

3- Jeffreys, Harold. (1970). The Earth. Cambridge at The University Prees.

4- Rogers, John J.W et al. (1966). Fundamentals of Geology. Harben & Row Publishers, New York.

5- Tarbuck, E. Lutgens F. (1992). The Earth, Ar Introduction To Physical Geology. Macmillon Pub. Compary, New York.

6-Ordway, Richard J. (1972). Earth Scienee 2ed ed. D. Van Nostrand Company. New York.

7- Emmons, William H. et. al. (1955). Geology Principles and Processes. 4th ed, McGraw- Hill Book Company. INC. USA.

8- Ojakangas, Richard W. (1991). Theory and Problems of Introductory Geology, Schaum's Outline Series, New York.

GEOLOGY

أساسيات الجيولوجيا





Yaman